



TITLE:

わが国における大気環境負荷量の
推計とライフサイクルアセスメン
トへの応用に関する研究(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

南齋, 規介

CITATION:

南齋, 規介. わが国における大気環境負荷量の推計とライフサイクルア
セスメントへの応用に関する研究. 京都大学, 2001, 博士(エネルギー科
学)

ISSUE DATE:

2001-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3183608>

RIGHT:

わが国における大気環境負荷量の推計と
ライフサイクルアセスメントへの応用に関する研究

2001 年 1 月

南齋 規介

論文要旨

題 目

「わが国における大気環境負荷量の推計とライフサイクルアセスメントへの応用に関する研究」

著 者

南 齋 規 介

本研究では製品や技術システムなどに付随する環境負荷を，“cradle to grave”の視点で評価するLCA (Life Cycle Assessment)におけるインベントリデータとして応用可能な環境負荷原単位を整備・応用し，LCI 分析 (Life Cycle Inventory 分析)の技術的問題の解決に向けた手法開発および事例研究を行った。

最新の 1995 年産業連関表をベースとしてエネルギー消費量，CO₂排出量，NO_x排出量，SO_x排出量および PM 排出量に関する原単位を約 400 部門の経済活動部門ごとに算出した。また，原単位とその推計過程で得られる結果を用いて，わが国のエネルギー消費量および大気環境負荷量に対する各燃料種の寄与や，経済部門別の寄与を定量的に示した。その結果，1995 年のわが国の経済活動に伴うエネルギー消費量は 4,138Ecal，CO₂排出量は 3.4 億 t-C，NO_x排出量は 357 万 t，SO_x排出量は 185 万 t，PM 排出量は 34 万 tと推計された。

さらに，運輸や家計部門における負荷量の低減策として電気自動車 (EV)の普及を考え，EV 導入による環境負荷低減効果を，算出した原単位を用いて LCI 分析により定量的に評価した。その結果，低減される負荷量には地域間の格差が大きいことが判明した。例えば，EVのライフサイクルCO₂排出量は全国平均で 3.6t-C/台であり，EVを使用する地域によって全国平均を基準として約 72%～165%の違いがあった。同様に，NO_xは 13.1kg/台で 66%～151%の違いがあり，SO_xは 12.2kg/台で 51%～312%の相違が生じた。

LCI 分析結果の地域による違いを簡易に求めるため，環境負荷量に影響を与える発電構成などの地域特性を原単位に反映させる手法を開発し，CO₂に関する地域別原単位を作成した。また，地域別原単位を用いて生産製品に付随する環境負荷が最も抑制される生産地域を選択する手法の開発を行った。「複写機」，「ビデオ機器」，「カメラ」の生産を事例に生産地域を選択した結果，関西地域による生産が CO₂排出量を抑制できることを明らかにした。

加えて，原単位の算出過程から生ずる誤差に着目し，原単位の信頼性とLCI分析結果の不確実性を定量的に評価する手法を示した。乗用車の車体生産を例に CO₂に関する LCI 分析を行った場合，生産に付随する排出量は 0.884t-C と算出されるが，その信頼領域は 0.850t-C から 0.974t-C であり，相対誤差-4%から 10%を持つ結果であると評価された。

目次

第1章 序論..... 1

1.1 研究の背景..... 1

1.2 LCA に関する研究動向..... 3

1.2.1 LCI 分析の研究動向..... 4

1.2.2 インパクトアセスメントの研究動向..... 5

1.3 本研究の目的..... 5

1.4 本論文の構成と各章のねらい..... 6

参考文献..... 8

第2章 大気環境負荷原単位データベースの構築..... 9

2.1 LCI 分析におけるインベントリデータ..... 9

2.1.1 産業連関表によるインベントリデータ..... 10

2.1.2 産業連関分析による原単位の算出理論..... 11

2.1.3 原単位のインベントリデータとしての応用..... 13

2.1.4 大気環境問題と原単位..... 13

2.2 本章の目的と研究方法..... 14

2.3 基本分類の統合..... 17

2.4 石炭系燃料消費量の推計..... 17

2.4.1 原料炭..... 17

2.4.2 一般炭・亜炭・無煙炭..... 18

2.4.3 コークス..... 19

2.4.4 コークス炉ガス(COG)..... 20

2.4.5 高炉ガス(BFG)..... 20

2.4.6 転炉ガス(LDG)..... 21

2.5 石油系燃料消費量の推計..... 21

2.5.1 原油..... 21

2.5.2 A 重油..... 21

2.5.3 B・C 重油..... 21

2.5.4 灯油..... 22

2.5.5 軽油..... 23

2.5.6 揮発油..... 23

2.5.7	ジェット燃料油	23
2.5.8	ナフサ	24
2.5.9	石油系炭化水素ガス	24
2.5.10	炭化水素油	24
2.5.11	石油コークス	24
2.5.12	液化石油ガス(LPG)	24
2.6	天然ガス系燃料消費量の推計	25
2.6.1	天然ガス・液化天然ガス(LNG)	25
2.6.2	都市ガス	25
2.7	その他の原燃料消費量の推計	25
2.7.1	黒液・廃材	25
2.7.2	廃タイヤ	25
2.7.3	一般廃棄物	26
2.7.4	産業廃棄物	26
2.8	燃焼用途率の設定	26
2.8.1	エネルギー転換用	26
2.8.2	原料用	27
2.9	燃料種別エネルギー消費量の算出	27
2.10	CO ₂ 排出量の算出	28
2.10.1	石灰石	29
2.10.2	カスケード利用に伴う排出量の配分	30
2.11	固定発生源からの NO _x , SO _x , PM 排出量の推計	32
2.11.1	固定発生源に関する排出係数	32
2.12	固定発生源における非化石燃料起源	33
2.12.1	電気炉用電力消費量	33
2.12.2	原料鉍石消費量	34
2.12.3	野焼き活動量	34
2.13	原燃料種と固定発生源排出係数の対応と選択	35
2.13.1	主要部門における排出量比較	36
2.14	移動発生源からの NO _x , SO _x , PM 排出量の推計	38
2.14.1	自動車からの排出量	38
2.14.2	タイヤ磨耗による PM 排出量	42
2.14.3	船舶・鉄道・航空機からの排出量	43
2.14.4	農業機械・建設機械からの排出量	43
2.15	ホームページによる原単位の試験的公開	43
2.15.1	公開用ホームページの作成	44

2.15.2	原単位利用者へのアンケート調査	44
2.16	まとめ	48
	参考文献	49

第3章 わが国における大気環境負荷の構造分析 53

3.1	本章の目的と研究方法	53
3.1.1	原単位を用いた最終需要分析の方法	54
3.2	部門別燃料種別にみた環境負荷量	54
3.2.1	エネルギー消費の構造	55
3.2.2	CO ₂ の排出構造	57
3.2.3	NO _x の排出構造	59
3.2.4	SO _x の排出構造	61
3.2.5	PM の排出構造	63
3.3	まとめ	65
	参考文献	66

第4章 大気環境負荷原単位の LCA への適用 67

4.1	大気環境問題と次世代自動車の台頭	67
4.2	本章の目的と研究方法	68
4.3	車体製造・廃棄に伴う環境負荷量	70
4.4	EV 普及のための社会資本整備	71
4.4.1	南カリフォルニアの充電ステーションプログラム	71
4.5	わが国における充電ステーション設置数の推計	73
4.5.1	市街地における設置	73
4.5.2	高速道路上における設置	74
4.6	充電ステーションに関する LCI 分析	75
4.6.1	充電機器生産段階	75
4.6.2	機器輸送段階	76
4.6.3	機器設置段階	77
4.7	充電ステーション設置に伴う環境負荷量	77
4.7.1	EV のライフサイクルへの寄与	78
4.8	利用者層別の充電パターンのモデル化	79

4.8.1 充電条件の設定.....	81
4.9 充電時の排出強度の算出.....	82
4.9.1 排出強度の地域・時間的変動要因.....	83
4.10 利用者層別の充電段階排出量.....	86
4.11 LCI 分析結果の地域別比較.....	87
4.12 蓄電池を用いた深夜電力の利用による負荷低減.....	89
4.13 EV の普及による環境負荷への影響.....	89
4.14 まとめ.....	94
参考文献.....	95
第5章 地域特性を考慮した LCI 分析手法の開発	97
5.1 本章の目的と研究方法.....	97
5.2 地域別原単位の定義.....	100
5.3 生産に関する地域別原単位.....	100
5.4 電力消費に関する地域別原単位.....	101
5.4.1 地域別単位あたりの直接排出量.....	101
5.4.2 発電構成を反映した投入係数.....	102
5.4.3 電力に関する地域別原単位の比較.....	103
5.5 輸送に関する地域別原単位.....	104
5.5.1 輸送に関する地域別投入係数と直接排出量.....	104
5.6 地域別原単位の事例.....	106
5.7 低環境負荷生産地域の選択.....	107
5.7.1 低環境生産地域の選択事例.....	108
5.8 まとめ.....	109
参考文献.....	110

第6章 LCA の不確実性分析.....	111
6.1 本章の目的と研究方法.....	111
6.2 原単位の信頼性の尺度.....	113
6.2.1 偶然誤差の性質.....	114
6.2.2 系統誤差の性質.....	115
6.3 原単位への誤差伝播.....	115

6.3.1 偶然誤差と原単位の関係.....	115
6.3.2 系統誤差と原単位の関係.....	116
6.3.3 誤差の合成.....	116
6.4 LCI 分析結果への誤差伝播.....	116
6.5 原単位の信頼領域.....	117
6.6 LCI 分析結果の誤差(乗用車生産を例として).....	119
6.7 まとめ.....	120
参考文献.....	121
第7章 結 論.....	123
7.1 本研究の結果と総括.....	123
7.2 研究成果の活用.....	126
7.3 今後の課題.....	126
7.3.1 大気環境負荷量の推計と構造分析に関する課題.....	126
7.3.2 LCI 分析に関する課題.....	127
謝 辞.....	129
関連論文リスト.....	130

付録目次
付録

図目次

第 1 章

図 1-1 本論文の構成と大気環境問題および LCI 分析に関する課題との関係..... 7

第 2 章

図 2-1 大気環境負荷原単位データベースの構築プロセス..... 16

図 2-2 「外洋輸送」部門における B・C 重油の計上範囲..... 22

図 2-3 「航空輸送」部門におけるジェット燃料油の計上範囲..... 23

図 2-4 鉄鋼関連部門におけるエネルギーと炭素の流れ..... 31

図 2-5 固定発生源排出係数選択のための排出量比較方法..... 36

図 2-6 選択する排出係数による NO_x 排出量の違い 37

図 2-7 自動車起源の NO_x および PM 排出量の推計フロー 39

図 2-8 原単位データベースの公開ホームページの例 47

図 2-9 アンケート調査のホームページの例 47

第 3 章

図 3-1 燃料種別にみたエネルギー消費量(1995 年)..... 55

図 3-2 部門別にみたエネルギー消費量(1995 年) 56

図 3-3 燃料種別にみた CO₂ 排出量(1995 年)..... 57

図 3-4 部門別にみた CO₂ 排出量(1995 年)..... 58

図 3-5 燃料種別にみた NO_x 排出量(1995 年)..... 59

図 3-6 部門別にみた NO_x 排出量(1995 年)..... 60

図 3-7 燃料種別にみた SO_x 排出量(1995 年) 61

図 3-8 部門別にみた SO_x 排出量(1995 年) 62

図 3-9 燃料種別にみた PM 排出量(1995 年)..... 63

図 3-10 部門別にみた PM 排出量(1995 年) 64

第 4 章

図 4-1 EV の導入による環境負荷低減効果分析の概要..... 69

図 4-2 ロスアンゼルス の充電ステーション風景..... 71

図 4-3 南カリフォルニアにおける充電ステーションの設置施設割合 72

図 4-4 推計したわが国における充電ステーションの設置施設割合 77

図 4-5 充電施設での充電による EV 一台あたりの電力需要のモデル化概念 80

図 4-6 関西地域(平日)における利用者層別の非ホーム充電による電力需要 82

図 4-7 夏季(平日)における充電時の CO₂ 排出強度の地域間比較 84

図 4-8 夏季(平日)における充電時の NO_x 排出強度の地域間比較..... 85

図 4-9 夏季(平日)における充電時の SO_x 排出強度の地域間比較..... 85

図 4-10 EV と GV のライフサイクル CO₂ 排出量の地域間比較..... 87

図 4-11 EV と GV のライフサイクル NO_x 排出量の地域間比較..... 88

図 4-12 EV と GV のライフサイクル SO_x 排出量の地域間比較..... 88

図 4-13 蓄電池を利用した充電形態と利用しない場合との EV に関する環境負荷量の違い 89

図 4-14 EV の普及による環境負荷量変化の推計方法 91

図 4-15 EV の普及割合と走行段階における年間 CO₂ 排出量の変化 92

図 4-16 EV の普及割合と CO₂ 排出抑制量との関係..... 92

図 4-17 EV の普及割合と NO_x 排出抑制量との関係..... 93

図 4-18 EV の普及割合と SO_x 排出抑制量との関係..... 93

第 5 章

図 5-1 製品の環境負荷量に関する地域特性 98

図 5-2 地域別原単位作成の流れ 99

図 5-3 電力消費に関する地域別単位あたり直接 CO₂ 排出量の算出方法..... 102

図 5-4 電力消費起源 CO₂ 排出量の地域差による LCI 分析への影響..... 103

図 5-5 地域別輸送距離の設定モデルと算出方法..... 105

図 5-6 物流センサスからの調達割合の推定方法..... 106

図 5-7 「複写機」, 「ビデオ機器」および「カメラ」に関する地域別 CO₂ 排出原単位 107

図 5-8 複数製品を生産する場合の低環境負荷生産地域の選択手法 108

第 6 章

図 6-1 本研究と先行研究における原単位誤差分析へのアプローチ 112

図 6-2 原単位の偶然誤差推定に関する仮定..... 114

図 6-3 信頼領域内における CO₂ 排出原単位の相対誤差..... 117

図 6-4 「銑鉄」部門の CO₂ 排出原単位と信頼領域の関係..... 119

表目次

第 2 章

表 2-1 400 部門分類で公表されている主な産業連関表による原単位 10

表 2-2 特別な統合をした部門と対応する基本分類..... 17

表 2-3 原料炭消費量の統計間比較 18

表 2-4 石炭投入量(原料炭＋一般炭等)の統計間比較..... 18

表 2-5 一般炭消費量の統計間比較 19

表 2-6 「銑鉄」部門におけるコークス消費量 19

表 2-7 各部門におけるコークス炉ガス消費量 20

表 2-8 熱利用を目的とした廃タイヤ消費量 26

表 2-9 エネルギー転換用として燃焼用途率を設定した部門と燃料種 27

表 2-10 原料用として燃焼用途率を設定した部門と燃料種 27

表 2-11 原燃料種別単位物量あたりの発熱量 28

表 2-12 原燃料種別 CO₂ 排出係数..... 29

表 2-13 鉄鋼業に関する電気炉用電力消費の統計間比較..... 33

表 2-14 自動車製造部門における NO_x 発生に関する電力消費量 34

表 2-15 非鉄金属精錬部門における原料鉱石消費量..... 34

表 2-16 野焼きに伴う PM の発生量 35

表 2-17 排出係数の原燃料種と本研究における原燃料種との対応..... 35

表 2-18 車種別・速度域別走行割合 40

表 2-19 ディーゼル車に関する車種別速度域別走行距離 40

表 2-20 ガソリン車に関する車種別速度域別走行距離..... 40

表 2-21 LPG 車に関する車種別速度域別走行距離..... 40

表 2-22 ディーゼル車に関する速度域別 NO_x 排出係数 41

表 2-23 ガソリン車に関する速度域別 NO_x 排出係数 41

表 2-24 LPG 車に関する速度域別 NO_x 排出係数 41

表 2-25 ディーゼル車に関する速度域別 PM 排出係数 42

表 2-26 ガソリン車・LPG 車に関する PM 排出係数 42

表 2-27 移動発生源に関する燃料種別 SO_x 排出係数 42

表 2-28 タイヤ磨耗による車種別 PM 排出係数 42

表 2-29 船舶に関する NO_x, PM 排出係数..... 43

表 2-30 鉄道, 航空機に関する NO_x, PM 排出係数 43

表 2-31 農業機械, 建設機械に関する NO_x, PM 排出係数 43

表 2-32 解説書各章の必要に関する回答 45

表 2-33 各データの使用状況に関する回答 46

表 2-34 他データとの併用状況に関する回答..... 46

第 4 章

表 4-1 電気自動車へのコンバートで置換される部位..... 70

表 4-2 鉛電池 1 個あたりの構成素材..... 70

表 4-3 南カリフォルニア地域の充電ステーション数..... 72

表 4-4 充電ステーションの設置対象とした高速道路とその諸元 75

表 4-5 充電ステーションに設置する充電機器の構成素材 76

表 4-6 充電機器陸上輸送時の排出係数 76

表 4-7 充電機器海上輸送時の排出係数..... 76

表 4-8 充電ステーションに関する EV 一台あたりの環境負荷量 79

表 4-9 EV 利用者層別充電条件..... 82

表 4-10 地域名と該当する都道府県の対応表 83

表 4-11 各発電プラントの設備建設・運用等に関する環境負荷係数..... 86

表 4-12 地域・季節別の充電に関する排出強度..... 86

第 5 章

表 5-1 電力消費に関する地域別単位あたりの直接 CO₂ 排出量..... 102

表 5-2 電力消費に関する地域別 CO₂ 排出原単位 103

表 5-3 生産割合に応じた低環境負荷生産地域の事例 108

第 6 章

表 6-1 部門別 CO₂ 排出量の相対誤差..... 115

表 6-2 1995 年 CO₂ 排出原単位 (t-C/百万円) の信頼領域 (一部抜粋) 118

表 6-3 乗用車の素材構成該当部門の原単位と相対誤差 119

第1章 序 論

1.1 研究の背景

公害問題, それは経済大国へと邁進するための必然的な代償だったのであろうか。1950 年代以降水俣病, イタイタイ病, 第 2 水俣病, 四日市ぜんそくと, 高度経済成長と引き換えに公害問題は多くの人の命を奪った。しかし, 問題の原因は特定工場のメチル水銀を含む排水や, おびただしいほどの亜硫酸ガスの排出と, 次第に加害者が特定され, 具体的な防止策が講じられた。具体的には, 汚染物質の除去, 排出抑制による実質的な削減や, 排出源の分散化による汚染密度の減少が行われ¹⁾, また, 脱硫装置や集じん機の設置, 低硫黄の石油製品の開発も進んだ。当時, 公害防止と経済的繁栄による物質的豊かさを両立させたわが国の施策は, 世界に誇れるすばらしいものであった。その後, 多くの訴訟を重ね, 公害は企業や行政の大いなる過失であったことが認められてきた。すなわち, 公害問題は成長の必然的な代償ではなく, わが国の怠惰であったといえよう。

時代の経過とともに, 繁栄と豊かさの陰で生み出したものは公害問題から地域環境問題へ, さらに地球環境問題へと形を変えていった。例えばバブル経済に沸き, 渋滞に高級車がひしめく 1988 年, 兵庫県尼崎市の公害病認定患者が国, 阪神高速道路公団などを相手に訴訟を起した。大気汚染の原因は国道 43 号線, 阪神高速神戸線を走る自動車である。原因は明白, しかし, 汚染源は一台の自動車ではなく, 不特定多数の自動車による集団的行為の集積であるため責める相手が定まらない。加害者は仕事やプライベートで罪の意識などなく車を運転している普通の人々である。時には大気汚染による健康被害者すら, 加害者の一人であった可能性もある。汚染者個々の寄与は小さく, そのうえ汚染者が特定できないことから, 工場の排煙のように直接的な対策は難しい。また, 加害者が不特定多数であるため, 責任の追及が容易ではない。これが近年の地域環境問題における特徴の一つであり, 公害問題に比べて克服を困難にしているのである。

そして, 1990 年, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) の第 1 次報告書で地球温暖化

問題が警告された。温暖化の原因となる CO₂ は工場の生産活動だけでなく、日々の小さな活動からも発生する。地域環境問題と同様、不特定多数の人間が温暖化への加害者であり、彼らの問題意識は低い。さらに、その影響が 100 年後と言われ、被害程度の推測には大きな不確実性を伴うため、問題に対する緊迫感希薄であるなど、地球環境問題はその対策の実行を困難にする要素を多く抱えている。その中でも、生活習慣や社会システムの変更、我々の自主的な努力がなければ問題は解決されないことが最大の障壁であろう¹⁾。

22 世紀に生きる人々にとって、地球環境問題が経済成長の必然的代償であったと判断されるか否かは、我々の英知と行動にかかっている。振り返れば、先人はいくつもの当時の不可能を可能にしてきた。それは、一握りの天才達が主役であったかも知れないが、我々は彼らの残した英知により今の豊かな暮らしを築いてきた。今度の主役は間違いなく、我々一人一人である。21 世紀初頭に生きる我々が、100 年後の子孫にとって誇れる先人と記されるべく、経済と環境の豊かさの両立を可能とする、すなわち持続可能な発展を実現する術を示さなければならない。

CO₂ の排出を始めとする環境負荷は、我々の日々の活動と密接に結びついていることは言うまでもない。環境負荷の抑制は、問題となる諸活動を停止すれば達成されるが、それは持続可能な発展ではなく、もちろん現実的でもない。今日、経済活動を大きく妨げることなく、生産プロセスや生活様式の改善への道を探るための研究が各機関で行われている。環境システムに関する研究では、わが国の全体の環境負荷に対し、寄与の大きい産業や燃料、経済需要などを把握し、最適な炭素税、環境税の導入や産業構造の転換方法を提案する。政策的にトップダウンで環境負荷の低減を図るのである。実際の政策実施となると極めて難しいが、コスト面や負荷の低減という点で、非常に効率的な解決策を示してくれる。

一方、ちりも積もれば山となる、たとえ総環境負荷に対する各々の寄与は僅かであっても、会社や個人レベルで環境改善に取り組み、その集積的效果を狙うことも重要である。個々で改善策を検討するため、その実行性は高く、環境問題に対する認識が強まることが期待できる。このボトムアップによる環境問題への取り組みをサポートする道具として、ライフサイクルアセスメント(LCA : Life Cycle Assessment)が注目を集めている。LCA は製品や技術システムについて、その原料採掘から廃棄に至る一連の過程における環境負荷を定量的に評価する手法である。これは、ある局面における負荷の低減が、他の局面でかえって負荷の増大を招くことがないかどうかを、ライフサイクルを通じて評価することができる²⁾。LCA により、身の周りの事象に付随する環境負荷の実態とその構造を我々自身が認識することができれば、個々で意思決定を行うため実現性の高い、真に地球にやさしい製品の選択や、ライフスタイルへの転換が可能である。我々の一人一人が主役となり、種々の環境問題を克服して行くために提供すべく環境情報として、LCA は大いに貢献する。

しかし、LCA はクリアしなければならない技術的課題を依然として多く抱えており、各企業で試行的に実施されている段階である。ライフサイクルにおける総合的な環境評価結果は製品評価のみならず、環境政策、環境経営戦略など、如何なる評価対象、意志決定に関しても必要不可欠なものである。技術的な問題を早急に解決し、試行的に LCA が用いられるのではなく、恒常的に利用される段階へと発展させることが今、強く求められている。

1.2 LCA に関する研究動向

LCA は 1969 年のコカコーラ社の委託による MRI(Midwest Research Institute, 現フランクリン研究所)における飲料容器(リサイクル可能なガラス瓶と使い捨てペットボトルの優劣)に関する環境影響評価が基礎と考えられている³⁾。その後、1979 年には LCA 研究を目的とする SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry : 環境毒物化学学会)が結成された。ヨーロッパでは 1984 年に LCA に関する研究結果がスイス連邦内務省環境局(BUWAL)、1990 年には欧州プラスチック製造協会(APME)から報告され、1991 年には SETAC やライデン大学から LCA のマニュアルが発表された³⁾。

わが国でも 1990 年代に入り、環境庁(現在 環境省)や各業界団体において LCA による製品評価が始まった。1994 年には LCA をテーマとする「第 1 回エコバランス国際会議」が茨城県つくば市で開催され、多くの手法論や事例研究が発表され、現在、この国際会議は 4 回を数える。LCA は 4 つの段階から構成される手法であり、①目的及び調査範囲の設定、②ライフサイクルインベントリ分析(LCI 分析 : Life Cycle Inventory 分析)、③ライフサイクル影響評価(インパクトアセスメント)、④改善評価となっている。手法論の中心となるのは LCI 分析やインパクトアセスメントに関することが多い。

「ライフサイクルアセスメント-原則及び枠組み-」³⁾では LCA を普及させる場合における、LCI 分析の手法上の問題点として以下の項目を挙げている。

- ① 線形仮定:排出原単位などの線形仮定の妥当性。さらに現実改善評価を対象とする際の限界的、あるいは平均的原単位の採用の可否。限界的効用と平均効用の区別。
- ② 感度分析の体系化:データの安定性と精度、信頼度、これに対する感度分析の具体的方法と評価。
- ③ 動的不安定性:範囲、時間的変化、稼働率などの変動と観測期間の問題。
- ④ 代替策の複合効果:一つの技術、あるいは製品に対する改善度、技術の複合利用の効果の評価、あるいは絶対的な評価の是非。
- ⑤ 複合的機能の取り扱い:その根拠と具体的取り扱い手法、システムの評価の必然性(例:コジェネレーションシステムなど。この際の物理的整合性の評価)。
- ⑥ 製品と製造過程の対応の任意性:配分、複合利用、分業製造、供給ミックスの等の扱い。
- ⑦ 消費段階の把握:多様性と不安定性に対する取り扱い手法とデータ取得。
- ⑧ リサイクル、廃棄物回収処理の扱い。
- ⑨ 間接投入の追跡、定量的把握。
- ⑩ 海外生産材料、消費、廃棄処理などの取り扱い。
- ⑪ 資本設備の評価とその影響範囲の決定。
- ⑫ 物理的状況の記述:質量、エネルギー以外の特性値、例えばエクセルギーなどの評価とその安定性。
- ⑬ 地域格差、特性格差、時間的不安定性、格差のある多様提供源のミックスの扱い。稼働率などによる時間的状況変化の扱い。

⑭ 総合的評価, 全体のシステムの整合性の維持: 限界的効用, ミックス, 地域差, 時間による量的整合性の評価。

⑮ 再処理, 再利用などの不安定性, データ取得, 非存在産業の取り扱い。

⑯ 資本形成の考慮とデータ取得, 波及範囲の特定。

このような課題を抱えつつも, LCA による環境評価事例は, ここ数年で数多く報告されてきた。特定の研究機関だけでなく, 各企業が自社の製品に対して LCA を実施する例が増えたことが理由に挙げられる。また, LCA の手法に関する研究もインベントリ分析の段階からインパクトアセスメントへと進んでおり, 4 段階からなる LCA 研究が着実に発展している証と言えよう。

2000 年 10 月, 茨城県つくば市で「第 4 回エコバランス国際会議」が開催された。エコバランスは隔年で行われ, 各国におけるその時点での最新の LCA 研究が発表される。ここでは, 第4回エコバランスにおいての研究発表を中心に LCA に関する研究動向を概観し, 問題点や研究課題を簡単に整理する。

1.2.1 LCI 分析の研究動向

LCI 分析では評価対象に関する環境負荷をライフサイクルの視点で定量的に捉える。インパクトアセスメントの手法が確定していないことから, 事例研究では LCI 分析までを行っていることが多い。特に CO₂ 排出量のみを対象とする場合には, 量の把握が重要であるため, その傾向が強い。

メーカーの自社製品を対象とした分析では, 自社内における組み立てや加工段階に付随する排出量は自社内調査を行い, 原料材料の負荷など社外情報を必要とする場合は他のデータベースの値を併用することがある。わが国における LCI 分析用のパブリックデータは, 現在, 国家プロジェクトの一環である「製品等ライフサイクル環境影響評価技術」, 通称 LCA プロジェクトの中で作成されている。1998 年度から 2003 年度にかけて行われているプロジェクトで, インベントリデータの作成は 1999 年度に終了している。このデータは積み上げ法により収集されており, CO₂, CH₄, HFC, PFC, N₂O, SF₆, NO_x, SO_x, 粒子状物質 (PM : Particulate Matter), BOD, P, N, 懸濁物質の 14 項目を対象としている⁴⁾。一方で, 産業連関表⁵⁾によるインベントリデータも公表され, 併用データとして利用されているが, 環境負荷項目は積み上げ法によるデータに比べ少ない。

LCI 分析の手法論に関する研究として, 結果の不確実性についての検討が始まっている。積み上げ法による LCI 分析の不確実性の評価として, 感度分析や個々のデータに乱数による誤差範囲を与え, 複写機を例として最終的な結果の誤差を定量化した報告がある^{6,7)}。また, 電炉形鋼を例に, 平均的な電力構成に基づく CO₂ に関する LCI 分析の結果に対し, 電力構成の地域的・時間的相違を考慮して不確実性を表現している⁸⁾。最終的に LCA 結果により製品間の比較をする場合には, 結果の曖昧さの定量的評価は不可欠であり, 取り組むべく研究課題の一つである。

簡易な LCI 手法についても議論されている⁹⁾。LCI 分析を最初から詳細に実施するのは非常に手間がかかるため, まず, スクリーニング(ふるいわけ)を目的として簡易的な LCI 分析を行い, 負荷の大きい段階を明確にした後, その段階を重点的に分析する。LCI 分析の効率化は実施件数の拡大のみならず, 製品の企画段階における LCI 分析や改善後の再評価にとって重要であり, 今後さらに検討を

すすめる必要がある。

1.2.2 インパクトアセスメントの研究動向

LCA の第 3 ステージであるインパクトアセスメントに関する研究が, わが国でも進められている。インパクトアセスメントは各環境負荷項目の環境影響を単一指標で表現し, LCI 分析による複数項目の環境負荷量を総合的に評価する。インパクトアセスメントは欧米で先行的に研究が行われており, 負荷量から影響へと変換する係数として, Eco-Indicator`99, ExternE, EPS などがある¹⁰⁾。

現在, わが国で行われている研究の中で, まず環境的被害から守るべき対象, 保護対象 (Safe-guard Subject) に関する議論がある。何を主体として環境問題に取り組むかは文化的・社会的背景によって異なるため, わが国に対応した保護対象の選定は重要である¹¹⁾。LCA プロジェクト¹²⁾では①人間の健康, ②社会資産, ③生物多様性, ④一次生産の 4 項目を挙げている。松橋ら¹¹⁾は①人の生存・健康への影響, ②生産・生活基盤への影響, ③生物・生態系への影響, ④不安・不公平感等精神的影響を, 専門家以外の一般市民を交えた会議により選出している。両者とも, 健康と生物・生態への影響では共通した提案をしている。ちなみに, SETAC では①人間の健康, ②自然環境, ③人工環境, ④天然資源となっている¹²⁾。

次に, 地球温暖化, 酸性雨, 資源枯渇など環境問題領域と各保護対象との関連付けを行うのであるが, この手法もいくつか提案されている。例えば, 松橋らは AHP (Analytic Hierarchy Process) により市民を交え, 問題領域を保護対象に対して重み付けをし, 専門家と一般市民の間の重み付けに大きな違いがないことを確認している¹¹⁾。一方, LCA プロジェクトでは環境問題領域別に, 単位負荷量に対する実際の被害度をダメージ関数から算定し, 実被害の種類と保護対象との関連付けを行っている¹³⁾。これにより, 環境問題領域と保護対象との関係をより明確に示すことができる。

このように環境問題領域と LCI 分析で推計された環境負荷物質との関連を科学的知見に基づき対応させ, 最終的に環境負荷物質と保護対象とを結び付ける。さらに保護対象間の重み付けを行えば各種環境負荷物質を単一指標で比較評価できる。現在では, わが国の価値観に適した単一指標は少なく, この分野の研究の発展が期待される。

1.3 本研究の目的

全体的には LCI 分析およびインパクトアセスメントを主軸に LCA に関する研究が展開されているものの, 大気汚染物質を対象とした LCA においては LCI 分析の段階でさえ, 決して十分とは言えない状況である。こうした背景を受けて, 本研究は産業連関表を用いて LCI 分析のインベントリデータとして利用可能な大気環境負荷に関する原単位を整備し, 電気自動車などの事例研究を通じて, LCI 分析に関する技術的問題の解決に向けて応用することを目的とした。

1.4 本論文の構成と各章のねらい

本論文は産業連関表をベースとして、LCI 分析のインベントリデータとして応用可能な環境負荷原単位を整備・応用し、LCI 分析の問題点の解決に向けた手法開発および提案を行っている。大気環境問題に立脚した研究を行うことから、まずは不十分なインベントリデータの作成から取り組んだ。したがって、先に LCI 分析の代表的な問題点である 16 例を示したが、インベントリデータ整備において重要課題であるデータの信頼性評価手法の開発に加え、本論文は中でも、大気環境負荷との関連性の高い、環境負荷の地域性や時間依存の問題に関して研究を行った。事例研究では主たる大気汚染源である自動車に関して、電気自動車導入の負荷低減効果を LCI 分析を通じて明らかにしたが、ここでは LCI 分析による技術システム評価で問題となっているインフラ整備の評価を含めて実施した。次に、各章における研究内容とその意義を述べる。

「第 2 章 大気環境負荷原単位データベースの構築」では、LCA において大気環境負荷物質に関するインベントリデータの整備が十分でないことから、最新の産業連関表をベースにエネルギー消費量、CO₂に加え NO_x、SO_xおよび PM 排出量に関する原単位を算出した。産業連関表による原単位は、推計過程の透明性、客観性に優れたインベントリデータであり、環境システム分析においても広く応用が可能である。

「第 3 章 わが国における大気環境負荷の構造分析」では、第 2 章で求めた原単位を用いて、わが国における大気環境負荷物質の排出構造を解明した。産業連関表による原単位は、わが国の大気汚染物質の排出量を燃料種別、産業別および経済活動別に示すことができる。大気環境負荷の低減を目的とする策を講じる上で、排出構造の分析は有用な環境情報となる。

「第 4 章 大気環境負荷原単位の LCA への適用」では、大気汚染の主たる原因である自動車からの汚染物質排出量の抑制策として、電気自動車の普及を考え、その効果を LCI 分析により明らかにした。インベントリデータとして第 2 章による原単位を主として用い、大気汚染物質排出量の地域・時間依存性を配慮して、電気自動車の充電時の排出量を計算した。さらに、普及のための資本整備に関わる排出量をも加味した。これは、先に示した LCI 分析の問題点である③地域格差、時間的不安定性、⑥資本形成の考慮、に関する研究事例を示すことが狙いである。

「第 5 章 地域特性を考慮した LCI 分析手法の開発」では、第 4 章の事例研究により明らかになった LCI 分析の地域による相違を、汎用性の高い簡略的手法により明示するため、第 2 章の産業連関表による原単位を地域別に整備した。また、スクリーニングを含めた効率的 LCA 手法の開発は現在的重要課題の一つであることから、本章では製品等の計画段階における事前評価を目的とし、整備した地域別原単位を応用した環境負荷の地域間格差に着目した簡易 LCI 手法を開発した。これにより製品の販売までに関する環境負荷量を最も抑制することができる生産地域を選択することができ、企業が自社の生産活動に付随する環境負荷量を低減する術として機能することが狙いである。

「第 6 章 LCA の不確実性分析」では、第 2 章で整備した原単位の信頼性を評価する手法を提案し、不確実性を伴う原単位を利用した LCI 分析結果の精度を定量的に示す手法を開発した。本章は②感度分析の体系化、に対して回答する手法の一つを論じており、インベントリデータ作成者にとって取り

組むべき研究課題として位置付けられる。

「第 7 章 結論」では、各章で得られた結果をまとめ、本論文を総括した。また、本研究成果の応用範囲と今後の課題を示した。

本論文における各章の繋がりと大気環境問題と LCI 分析に関する課題との関連性を図 1-1 に示す。

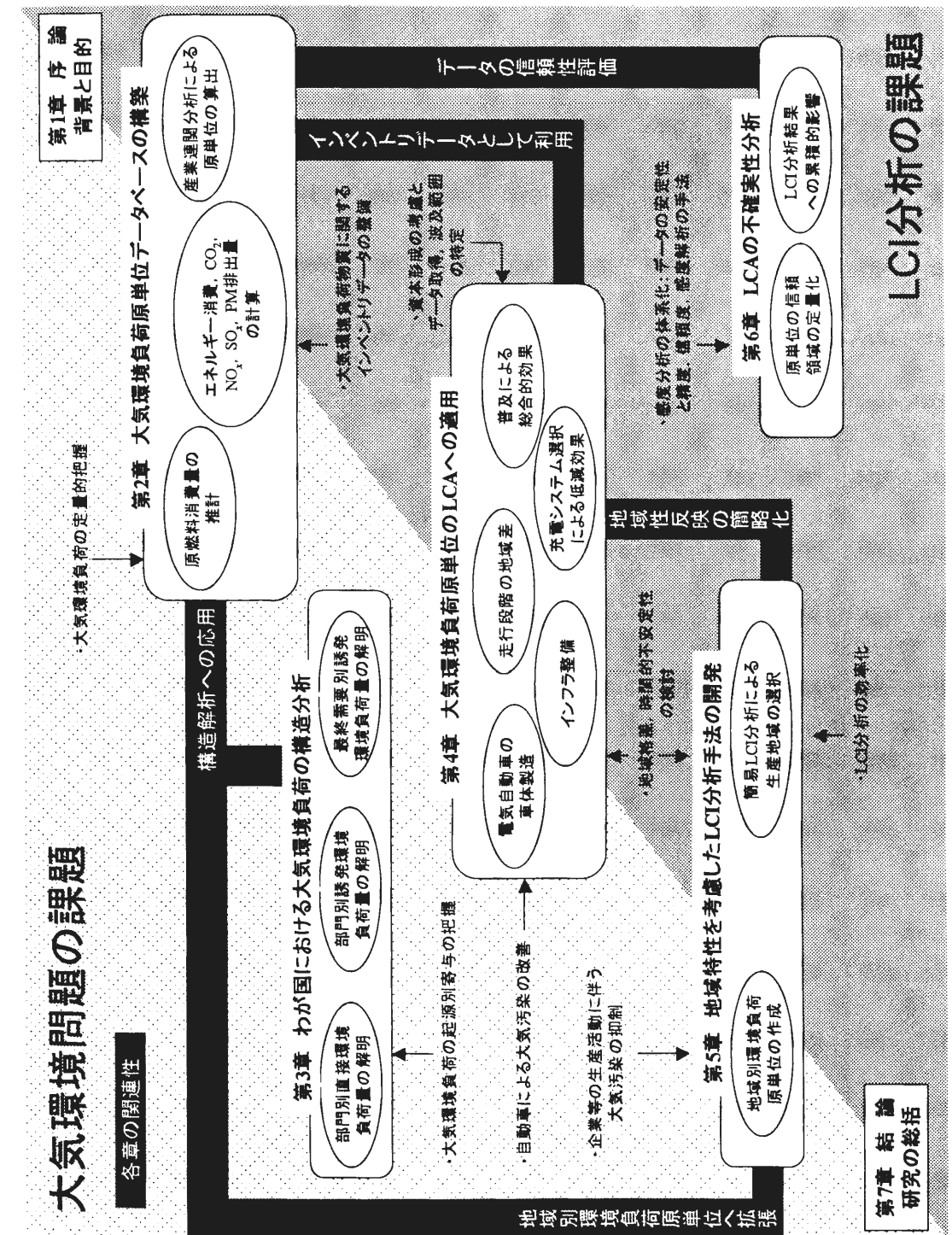


図1-1 本論文の構成と大気環境問題およびLCI分析に関する課題との関係

参考文献

- 1) (社) 未踏科学技術協会・エコマテリアル研究会(1995), LCA のすべて-環境への負荷を評価する-, (株) 工業調査会.
- 2) 国立環境研究所(2000), 輸送・循環システムに係る環境負荷の定量化と環境影響の総合評価手法に関する研究(特別研究), 国立環境研究所特別報告.
- 3) (社) 産業環境管理協会(1999), 対訳&解説 ISO14040/JIS Q 14040 ライフサイクルアセスメント-原則及び枠組み-, 財団法人 日本規格協会.
- 4) Yano, M., Aoki, R., Nakahara, Y., Itubo, N., Ohta, T. (2000), Current Status of National LCA Project in Japan, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.267-270, Tsukuba.
- 5) 総務庁(1999), 平成 7 年産業連関表.
- 6) 伊藤健司(1999), 日本事務機械工業会における感度分析・誤差分析の取り組みについて, 平成 10 年度環境基本計画推進調査費 LCA 応用施策に関する検討調査「物質・材料の研究開発および選択における LCA の導入に関する調査」科学技術庁報告書, pp.19-25.
- 7) 伊藤健司(2000), 複写機の LCA における不確実性評価, 平成 11 年度環境基本計画推進調査費 LCA 応用施策に関する検討調査「物質・材料の研究開発および選択における LCA の導入に関する調査」科学技術庁報告書, pp.64-71.
- 8) Harada, H., Hayase, K., Narita, N., Matsuno, Y., Inaba, A. (2000), Sensitivity and Uncertainty Analyses in Life Cycle Inventory Analysis, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.193-196, Tsukuba.
- 9) Hondo, H., Sakai, S. (2000), Preliminary Life Cycle Inventory Analysis (Pre-LCI) using an Economic Input-Output Table, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.181-184, Tsukuba.
- 10) Inaba, A., Mizuno, T., Itsubo, N. (2000), Development of Japanese LCIA Method Considering the Endpoint Damage, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.213-216, Tsukuba.
- 11) 松橋啓介, 森口祐一, 寺園 淳, 田邊 潔(2000), 問題領域と保護対象に基づく環境影響総合評価の枠組み, 環境科学会誌, 13-3, 405-419.
- 12) Itsubo, N., Inaba, A. (2000), Definition Safeguard Subjects for Damage Oriented Methodology in Japan, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.217-220, Tsukuba.
- 13) Itsubo, N., Inaba, A. (2000), Development of Damage Functions for LCIA Based on Endpoint Damage, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.221-224, Tsukuba.

第2章

大気環境負荷原単位 データベースの構築

2.1 LCI 分析におけるインベントリデータ

自社の製品や諸活動に伴う環境負荷量を LCA により計算する試みがますます盛んになっている。対象とする製品は包装紙, ダンボール, ガラス瓶, 金属素材, 自動車, オートバイ, 船舶, 家電製品, 事務機械, 電子機器やパスタまで様々である¹⁻²⁾。環境負荷がどの段階で, どれほどの量が発生しているかを把握する。こうした動きは企業や個人が環境に調和した負荷の少ない生産や行動を考える上で, 非常に重要な役割を果たしている。

LCA の LCI 分析にかかる労力を軽減するため, 多くの LCA ソフトウェアが国内外を問わず発表されている³⁾。海外の LCA ソフトはわが国よりも早くから発表されており, これらを利用したわが国の LCA 事例もみられる。しかし, 製品の個々の生産プロセスは先進国では共通していても, 電力や輸送物流システムなどは国によって異なるため, なるべく, 生産国の実態を反映したインベントリデータを利用するほうがよい。海外のソフトでは積み上げ法によるデータが多く組み込まれている一方で, わが国独自のソフトには, 積み上げ法⁴⁾によるものに加え, 産業連関分析法⁵⁾によるインベントリデータを積極的に採用しているものもある。

積み上げ法によるインベントリデータは評価できる環境負荷項目が多い。分析しようとする製品や技術プロセスと合致するデータが存在する場合には, 分析対象の技術的特性を反映した結果を複数の環境負荷項目について得ることができる。しかし, 各データ項目がどの程度, 生産プロセスを遡って排出量を推計したものか, また, その範囲は各項目で同じであるかなど, いわゆるシステム境界の設定が曖昧になる恐れがある。一方, 産業連関表によるインベントリデータのシステム境界は全てのデ

ータ項目で共通している。製品の開発段階で詳細な生産プロセスが不明な場合や、簡易的に LCI 分析を行って環境負荷の大きいプロセスを把握し、その後、詳細な積み上げ法を行う場合は、産業連関表によるインベントリデータの利用が有効である。ところが、産業連関表によるインベントリデータの作成には、わが国全体の環境負荷量を約 400 部門の経済活動別に推計する必要があるため、現状では積み上げ法によるインベントリデータに比べて、限られた環境負荷項目となっている。次に産業連関表によるインベントリデータの性質や歴史的経緯について簡単に触れる。

2.1.1 産業連関表によるインベントリデータ

産業連関表は一定地域において一定期間内に行われた財やサービスの産業間取引を一つの行列で表現したものである⁶⁾。取引は金額単位で記述されており、産業連関表を部門ごとに列方向に示されている金額を読むと、その部門の生産活動に要した各部門からの投入額を知ることができる。この貨幣による投入情報を物質の投入情報と読み替えることにより、ある部門の生産活動に要した資源量やエネルギー消費量を推算することができる⁷⁾。さらに、産業連関分析におけるレオンチェフ逆行列⁸⁾から、投入されたエネルギー消費量を究極的に積算することができ、強度や原単位とよばれる LCI 分析のインベントリデータ適した値が得られるのである。原単位とは単位生産額(百万円)あたりの経済的活動に伴い、直接・間接に排出される環境負荷量を示す係数を指す。

産業連関分析は、1970 年代半ばから詳細な分析が始まったエネルギー分析の分野で利用されてきた⁹⁾。エネルギー分析とは財貨・サービスを生産するために直接・間接に必要なエネルギーを計測し、広い意味でのエネルギー投入構造を分析することによって、エネルギーの側面から財貨・サービスの生産、消費における問題点を明らかにしようとする手法である¹⁰⁾。この概念を環境影響評価の分野へ適応したのが LCA と言っても過言ではなく、産業連関表による原単位が LCI 分析に利用されているのも当然といえよう。

原単位を LCI 分析のインベントリデータとして用いる場合は、わが国の産業連関表では最も詳細な分類となる400 部門別の原単位が必要となる。表 2-1 に現在発表されている主な原単位のデータベースを示す⁷⁾。海外でも産業連関表によるデータベースが発表されている。アメリカでは519 部門で原単位が作成され公開されている¹¹⁾。また、LCA への応用を目的としたものではないが、産業連関表の表現方法を応用し、欧州では貨幣を媒体とした物量の投入算出表現から、実際の物量による記述が行われており¹²⁾、国のマテリアルフローを明示する手段に使われている。わが国でも同様の試みが始まっている¹³⁾。

表 2-1 400 部門分類で公表されている主な産業連関表による原単位

公表機関	エネルギー	CO ₂	NO _x	SO _x	その他
国立環境研究所・京都大学*	○	○	○	○	CO
電力中央研究所	○	○	○	○	
慶應義塾大学		○	○	○	
金属材料技術研究所	○	○	○	○	BOD, COD, N, P など
日本建築学会	○	○	○	○	
(株) 東芝エンジニアリング*	○	○	○	○	
(株) 日本電気*	○	○	○	○	COD, N, P, 資源 など

*は1995年産業連関表によるデータを公開 +は有償

2.1.2 産業連関分析による原単位の算出理論

ここで、産業連関表による原単位の算出方法を説明する。通常、経済分析に用いられる産業連関分析はある部門の生産する製品やサービスに 1 単位の需要の増加があった場合に、その製品やサービスが投入される、すなわち購入する産業部門へ波及効果を知ることができる、後方波及が主に用いられている。しかし産業連関分析を環境分析に応用する場合には前者と異なり、例えば、ある部門に 1 単位の生産需要があった場合、その需要を満たすために直接間接に要した CO₂ 排出量を原料の採掘まで遡って推計することを意味する前方波及を利用する。

産業連関分析では輸入製品の取り扱いが重要になる。輸入をどう扱うかにより用いる基本モデルが異なる。輸入品の生産に関わるエネルギー消費や環境負荷が同一製品を国内で生産した場合のそれを同量であると仮定した場合、部門 j における環境負荷量は式 (2-1) の関係を満たす⁶⁾。

$$e_1x_{1,j} + e_2x_{2,j} + \cdots + e_kx_{k,j} + \cdots + e_nx_{n,j} + D_j = e_jX_j \tag{2-1}$$

ここで、 e_j は部門 j の単位生産(百万円)あたりの直接、間接に誘発される環境負荷量、すなわち環境負荷原単位(負荷量/百万円)を示し、 X_j は部門 j の国内生産額、 D_j は本章で推計を行う部門 j の直接環境負荷量、 x_{ij} は部門 j における部門 i からの投入額をそれぞれ示す。

式 (2-1) を国内生産額 X_j で両辺を割ると、投入係数 a_{ij} 、単位あたりの直接環境負荷量 d_j を用いて式 (2-2) で表せる。

$$a_{1,j}e_1 + a_{2,j}e_2 + \cdots + a_{k,j}e_k + \cdots + a_{n,j}e_n + d_j = e_j \tag{2-2}$$

これらを部門 $j=1,n$ についてベクトルおよび行列を用いて表すと式 (2-3) となる。

$$\begin{pmatrix} e_1 & e_2 & \cdots & e_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \cdots & a_{n,n} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_1 & d_2 & \cdots & d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_1 & e_2 & \cdots & e_n \end{pmatrix} \tag{2-3}$$

また、

$$\mathbf{e} = \begin{pmatrix} e_1 & e_2 & \cdots & e_n \end{pmatrix} \tag{2-4}$$

$$\mathbf{d} = \begin{pmatrix} d_1 & d_2 & \cdots & d_n \end{pmatrix} \tag{2-5}$$

$$\text{(単位行列) } \mathbf{I} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \tag{2-6}$$

$$\text{(投入係数行列) } \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \cdots & a_{n,n} \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

とおくと、式(2-3)は式(2-8)のように表せる。

$$\mathbf{e} \cdot \mathbf{A} + \mathbf{d} = \mathbf{e} \quad (2-8)$$

これを \mathbf{e} について解くと

$$\mathbf{e} = \mathbf{d} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (2-9)$$

となる。この方式は輸入品に関する環境負荷量が現在是不明瞭であるため多く用いられている。しかしこの方式では国内生産のほとんど行われていない石油、石炭、鉄鉱石、アルミニウムなどの負荷量については全く仮想的な値を求めることにすぎない。

また、 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ はレオンチェフ逆行列や単に逆行列と呼ばれ、部門間の波及効果を示す産業連関分析の根幹となる行列である。

これに対し、各部門における輸入による投入量を除外し国内生産活動に関わる環境負荷量だけを求める手法を次に示す。

部門 i における単位あたりの直接環境負荷量 d_i のうち輸入品が占める割合を示す輸入係数 m_i を式(2-10)で定義する¹⁴⁾。

$$m_i = \frac{M_i}{\sum_{j=1}^n a_{i,j} X_j + F_i} \quad (2-10)$$

ここで M_i は部門 i における輸入額、 F_i は最終需要計である。

式(2-2)から輸入分を控除すると式(2-11)となる。

$$a_{1,j} e_1 + a_{2,j} e_2 + \cdots + a_{k,j} e_k + \cdots + a_{n,j} e_n - (a_{1,j} m_1 e_1 + a_{2,j} m_2 e_2 + \cdots + a_{k,j} m_k e_k + \cdots + a_{n,j} m_n e_n) + d_j = e_j \quad (2-11)$$

さらに、輸入係数 m_i を要素とするベクトル \mathbf{M} を用いて式(2-12)を表すと、

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{e} - \mathbf{M} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{e} + \mathbf{d} = \mathbf{e} \quad (2-12)$$

なり、これを \mathbf{e} について解くと式(2-13)が得られる。

$$\mathbf{e} = \mathbf{d} \{ \mathbf{I} - (\mathbf{I} - \mathbf{M}) \mathbf{A} \}^{-1} \quad (2-13)$$

式(2-13)では、国内生産品に関わる環境負荷量を求めており、わが国内で発生する実質的な負荷量の計算を行うことができる。

2.1.3 原単位のインベントリデータとしての応用

原単位をインベントリデータして利用する場合には、産業連関表の付帯表である部門別品目別国内生産額表を利用するのが便利である。この表には素材や製品についてわが国の平均的な単価(円/kg など)が記されている。その単価を原単位に乘じることにより、百万円生産額あたりの環境負荷量(環境負荷量/百万円)から、単位物量あたりの環境負荷量(環境負荷量/kg, m³, etc.)へと換算することができる。

一般に、LCI 分析は製品の素材重量を調査することから始まる。単位重量あたりに換算した原単位と対応する構成素材の重量を掛け合わせれば、理論的にはその値が素材の生産により誘発された環境負荷量である。後は、素材から製品に加工する段階で発生する負荷量を調べ、加えれば製品の cradle to gate に関する総環境負荷量が導かれる。逆に、生産額あたりで表された原単位は、kg などの物量単位で表し難いものに適用する場合に効果的である。例えば、宣伝広告活動など要した紙や放送での電力量など物量単位で積み上げることも可能であるが、実用的ではない。このような場合、ある製品に対し広告費として、いくら支出したかを把握し、その金額を産業連関表の広告部門の原単位に乘ずればよい。

一方、原単位を利用する場合には次のことに注意する必要がある。原単位はわが国の平均的な生産や流通プロセスに基づき算出された値である。また、部門分類が約 400 部門と少ないため、わが国の生産活動全てが分類されておらず、幾つかの活動が集約され、一部門を形成している。集約数が多い部門の原単位に対し、該当する素材や製品の重量や価格を乗じた場合、算出される負荷量の精度は低下する。また、生産者価格による原単位は、商業マージンや流通コストを除いた価格であり、実売の価格とは異なる。

産業連関表による原単位には問題点もあるが、その特性を十分に理解することにより、LCA 結果の解釈を正しく行うことができれば、LCA を実施する場合に非常に有用なデータベースとなる。特に、製品や施策の計画段階において、開発や導入後に外部に与える影響が把握し難い場合には、原単位の利用は大変有効であり、計画の変更があっても比較的容易に、変更後の環境負荷量の増減を知るにも便利である。

2.1.4 大気環境問題と原単位

原単位を用いて大気環境負荷に関する LCI 分析を実施する場合、未だデータの有無が問題となっている。CO₂ 排出についてはデータ整備されているが、代表的な大気汚染物質である NO_x や SO_x についてはデータが若干あるものの、以前から問題とされているオゾンや光化学オキシダントに関するデータさえ整ってはいない。原単位は LCA だけでなく環境システム分析にも広く利用されるデータである¹⁵⁾。多種の環境負荷項目に関するデータが整備されなければ、存在するデータを中心に環境分析が行われるということも懸念される。

現在、早急な改善策が必要とされている大気環境問題として、PM による大気汚染がある。PM はディーゼル車からの排ガス中に含まれる DEP (Diesel Emission Particle) を中心として対策の重要性を議論されている物質である。PM は大気エアロゾルとも呼ばれ、種々の化学組成を有し粒径範囲が 1nm

～100 μm にわたり、人体への影響、視程障害、気候影響など広範囲に影響を及ぼしている。特に、大気中を浮遊する粒径が 10 μm 以下のものを浮遊粒子状物質 (SPM : Suspended Particulate Matter) と呼んでいる。その発生源は、人為発生源のみならず、海塩、火山の噴煙などの自然発生源、さらにはガスから粒子化して生成される二次粒子まで、多種多様である¹⁶⁾。人為発生源には、固定発生源として、燃焼過程に伴ってばい煙排出施設から排出される粒子 (ばいじん) と、物の機械的処理または堆積に伴って発生・飛散する粉じん (粉じん発生施設) があり、一方で自動車、船舶等の移動発生源がある。また、工場の煙突から排出された高温のガスが周辺の大気で急冷・凝縮して生成される凝縮性ダストが近年問題となっており、これは二次粒子として考えることができる¹⁷⁾。

PM に関する原単位を精度よく算出することは、CO₂ など化石燃料からの排出が多く、排出の回収技術などが確立していない物質に比べて容易ではない。これは、PM が固定発生源では集じん装置による対策が採られており、排出量が燃料消費量からだけでは推計できないからである。原単位の算出は、経済活動に伴う排出量を部門別に全て推計しなければならないが、集じん装置の効果や普及率が産業によって異なることも PM の推計を困難にしている原因であり、脱硝、脱硫技術が定着している NO_x や SO_x に関する推計についても当てはまる。しかし、原単位の環境分析における応用範囲の広さを考えると、より実態に近い推計に基づく PM や NO_x、SO_x に関するデータ整備は不可欠と言える。

2.2 本章の目的と研究方法

本章では大気環境問題としての重要性和、LCA に代表される環境分析手法における有用性を認識し、エネルギー消費量、CO₂ 排出量といった項目に加え、NO_x、SO_x および PM を対象に、わが国の脱硝、脱硫、集じん状況を反映した大気環境負荷原単位データベースを構築することを目的とする。ただし、PM の二次粒子の推計は前駆物質の状態や排出源周辺の気象条件などに左右され、現状ではこうした基礎データの収集が容易でないことから、本章では一次粒子を対象として SPM (粒径 10 μm 以下) に準ずる粒子を対象とする。

本章では同一の化石燃料消費量から各汚染物質の排出量を推計するため、燃料転換による環境負荷低減効果の分析を、多項目の負荷物質について整合性の取れた結果を導くこともできる。また、原単位はパブリックデータベースとして公開することを踏まえて整備する。表 2-1 に示したように、CO₂ 排出原単位は複数の機関から公表されているが、同一の部門であっても原単位の値はそれぞれ異なっている。産業間の依存関係や生産プロセスが複雑であったり、副製品などが発生したりする製品に関する環境負荷の計算には、負荷の配分を行わなければならない、その配分量は手法により異なることが原因の一つである¹⁸⁾。当然、原単位の値もそうした手法に依存するため、利用するデータによって LCI 分析の結果が変わる。原単位作成者以外の利用者が、この異なる結果の原因を理解するためには作成方法と計算過程における諸数値の公開が不可欠であるが、紙面上や経営上の都合のためあまり行われていない。したがって、本章ではパブリックデータとしての基本条件であるデータの透明性

を重視し、原燃料種ごとに消費量の推計方法や排出量の算出方法について詳細な解説を行う。

原単位の作成に用いた産業連関表は 1995 年表である⁶⁾。エネルギー消費量および CO₂ 排出量を始めとする大気環境負荷原単位データベースの構築プロセスを図 2-1 に示す。

まず、産業連関表の幾つかの部門を統合することにより 399 部門へ正方向行列化する。次に、石炭系燃料 6 種、石油系燃料 12 種、天然ガス系燃料 3 種、その他の燃料 4 種を対象に各部門における物量としての投入量を推計する。そして、各部門の燃料がエネルギー転換されているものや、原料用として利用されており、環境負荷の直接の原因とならない消費量を差し引くため、燃焼用途率を設定する。これを原燃料種投入量に乗じてエネルギー消費に寄与する物量消費量とし、さらに、発熱量および CO₂ 排出係数を掛け合わせ、部門別燃料種別のエネルギー消費量、CO₂ 排出量を求める。また、非化石燃料の CO₂ 排出起源として石灰石からの排出量を加味する。

NO_x、SO_x および PM の排出量は固定発生源と移動発生源に分類し、固定発生源からの排出はわが国の脱硝、脱酸、集じん技術を反映した排出係数を用いて算出する。加えて、非化石燃料由来の排出として、電気炉からの NO_x、原料鉍石起源の SO_x および農業における野焼きからの PM 排出量を考慮する。

移動発生源については、特に自動車からの排出量を車種や走行状態を反映し詳細に推計する。また、PM についてはタイヤの磨耗による影響を含め推計を行う。

最後に、固定発生源、移動発生源からの排出量を産業連関表の部門別に集計し、これを各部門における直接環境負荷量とし、産業連関分析法から各種原単位を導く。

2.3 基本分類の統合

1995 年産業連関表の取引基本表は基本分類である行 519 部門×列 403 部門で掲載されている。それゆえ、産業連関分析におけるレオンチェフ逆行列を求めるためには、正方行列化する必要がある。各行列の数部門を統合しなければならない。

本研究では、部門数を 399 部門、186 部門、93 部門、32 部門に統合した場合について、それぞれ原単位を算出し、186 部門、93 部門、32 部門への統合は産業連関表の小分類、中分類、大分類に従った⁹⁾。399 部門への統合は基本的に一つの列コードを列側の 1 部門とし、一つまたは複数の行コードをまとめ、行側の 1 部門を作成している。行コードの 2 桁目以上のコードが同一な場合、同じ部門としてまとめている。しかし、表 2-2 に示す部門については、複数の列コードを 1 部門にまとめた。

表 2-2 特別な統合をした部門と対応する基本分類

部門番号	統合した部門名	対応する基本分類名と列コード	対応する基本分類名と行コード
5	野菜	野菜(路地){11301} 野菜(施設){11302}	野菜{113001}
26	海面漁業	沿岸漁業{31101} 沖合漁業{31102} 遠洋漁業{31103}	海面漁業(国産){311001} 海面漁業(輸入){311002}
28	内水面漁業	内水面漁業{31201} 内水面養殖業{31202}	内水面漁業・養殖業{312001}
292	事業用電力	事業用原子力発電{511101} 事業用火力発電{511102} 水力・その他の事業用発電{511103}	事業用電力{5111001}

2.4 石炭系燃料消費量の推計

2.4.1 原料炭

物量表⁹⁾には 1995 年における国内流通量は約 7,315 万 t と記されている。しかし、これを他の統計表と比較すると、表 2-3 のように大きな乖離が見られる。『エネルギー生産需給統計(需給統計)』¹⁹⁾は 6,541 万 t、『総合エネルギー統計(エネバラ表)』²⁰⁾では 6,720 万 t と記されている。需給統計とエネバラ表の値に近いことから、物量表は過大と考えられるが、これは物量表の原料炭の定義が他と異なることが原因である。すなわち、物量表の原料炭輸入量は『日本貿易月表(貿易統計)』²¹⁾からの参照値であり、貿易統計がコークス原料以外の石炭も一部原料炭として扱っていることから他統計との違いが生じている。したがって、物量表では一般炭の供給量は他統計と比較し小さくなっているが、表 2-4 に示すよう、原料炭と一般炭の合計は需給統計、エネバラ表と大きなずれはない。

本推計では物量表による原料炭の定義から外れ、原料炭は鉄鋼関連部門でのみ消費されと考え、他部門での原料炭消費はないものとした。各部門への投入量は次のように決定した。まず、コークス生産部門である「石炭製品」部門への投入量は需給統計のコークス原料炭消費量 5,769 万 t を引

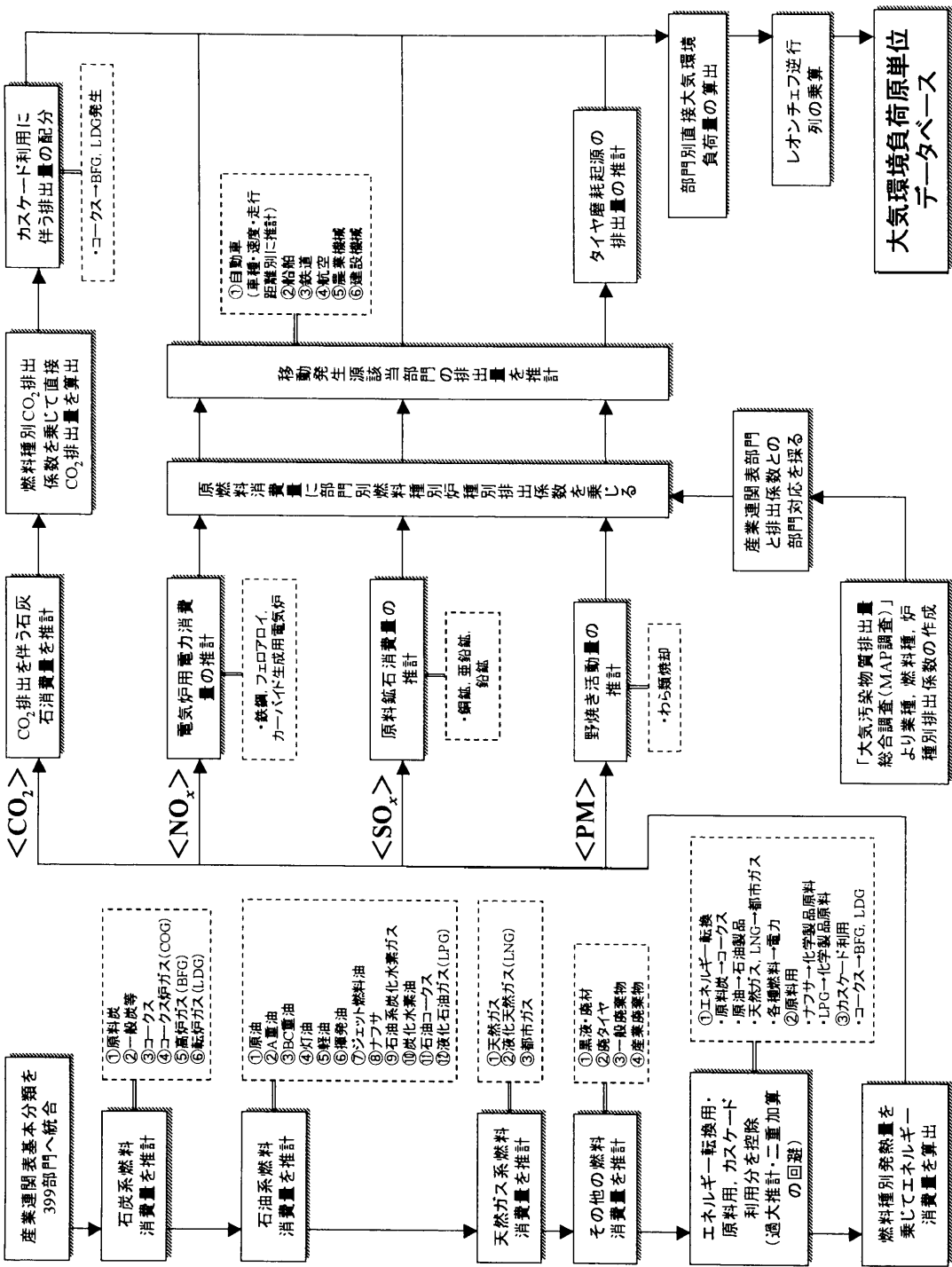


図2-1 大気環境負荷原単位データベースの構築プロセス

用した。「銑鉄」部門には『鉄鋼統計』²²⁾よりコークス用・非コークス用石炭として記載されている石炭消費量 886 万 t から後述する「銑鉄」部門における一般炭消費量 250 万 t を差し引いた 636 万 t を引用し、その他の鉄鋼部門へは鉄鋼統計記載の製鉄関連全石炭消費量 1,052 万 t から「銑鉄」部門への原料炭投入分 886 万 t、鉄鋼部門自家発電用石炭消費量 85 万 t を差し引いた 81 万 t を計上した。「自家発電」の原料炭消費量も鉄鋼統計より引用した。

その他鉄鋼部門内における 81 万 t の分配であるが、これは物量表記載の生産者価格で比例配分を行った。本推計では物量表記載の鉄鋼関連部門への一般炭投入は原料炭投入として扱っているため、配分価格は原料炭、一般炭の合計値を採用した。

表 2-3 原料炭消費量の統計間比較

部門名	原料炭消費量(t)		
	物量表	需給統計	エネバラ表
パルプ	0	0	0
化学工業	198,110	4,500	3,000
石炭製品	71,873,805	4,759,179	8,056,000
窯業・土石	0	0	0
銑鉄	196,952	60,223,398	48,901,000
鉄鋼	92,104	148,883	10,235,000
電力	0	0	0
自家発	0	0	0
その他	791,054	278,161	0
合計	73,152,025	65,414,121	67,195,000

表 2-4 石炭投入量(原料炭＋一般炭等)の統計間比較

部門名	石炭合計消費量(t)		
	物量表	需給統計	エネバラ表
パルプ	1,581,364	4,018,057	2,310,000
化学工業	2,911,641	3,840,632	777,000
石炭製品	71,937,356	4,824,362	8,131,000
窯業・土石	10,200,995	9,698,445	10,067,000
銑鉄	2,696,005	63,084,952	51,114,000
鉄鋼	293,196	581,926	10,506,000
電力	38,369,089	40,842,836	41,475,000
自家発	2,323,181	0	6,585,000
その他	1,565,048	2,239,896	626,000
合計	131,877,875	129,131,106	131,591,000

2.4.2 一般炭・亜炭・無煙炭

一般炭の国内供給量は表 2-5 に示すように、物量表では 5,873 万 t であり、需給統計が 6,372 万 t、エネバラ表では 6,440 万 t となっている。物量表の値が他統計と比べ小さい値になっている原因は、原料炭と同じく貿易統計の定義による。一般炭については、他統計と物量表を比較したところ、総量には相違が見られるものの、各部門ごとの集計値はほぼ一致する箇所が多く、以下に説明する部門以外は物量表の値を採用した。

「石炭製品」部門への投入量は原料炭と同じく、需給統計よりコークス原料用として記載のある一般炭消費量 218 万 t を代入、「事業用電力」部門へは物量表がエネバラ表、需給統計より過小であった

ため修正し、需給統計より 4,084 万 t を引用した。化学工業、パルプ部門について、需給統計と大きく値が異なっているのは、需給統計では自家発電に使用した物量も各部門に直接的に計上されるが、物量表、エネバラ表では自家発電として別に計上されることによる。

また、化学工業、紙・パルプ業の自家発電量の多い地域を『石油等消費構造統計(構造統計)』²³⁾にて確認すると、大規模な自家発電施設を持つ工場が立地する箇所と一致することから、当該部門における一般炭消費は生産用ではなく、自家発電用であると判断し、化学工業、パルプ工業への直接投入量は物量値 271 万 t、158 万 t をそれぞれ採用し、需給統計記載値 384 万 t、402 万 t との差の合計値 360 万 t を自家発電部門へ計上した。これらの修正により一般炭国内供給量は 6,440 万 t となり、他統計とおおよそ近似する値となっている。

表 2-5 一般炭消費量の統計間比較

部門名	一般炭等消費量(t)		
	物量表	需給統計	エネバラ表
パルプ	1,581,364	4,018,057	2,310,000
化学工業	2,713,531	3,836,132	774,000
石炭製品	63,551	65,183	75,000
窯業・土石	10,200,995	9,698,445	10,067,000
銑鉄	2,499,053	2,861,554	2,213,000
鉄鋼	201,092	433,043	271,000
電力	38,369,089	40,842,836	41,475,000
自家発	2,323,181	0	6,585,000
その他	773,994	1,961,735	626,000
合計	58,725,850	63,716,985	64,396,000

2.4.3 コークス

各部門における消費量は物量表の値を用いた。物量表には「都市ガス」部門から発生するコークスが副産物扱いで計上されているが、本推計では、この副産物としてのコークスも含めて各部門へ計上した。しかし、物量表上でマイナス計上されている、「都市ガス」部門からの副産物コークス発生分は含めていない。

カスケード利用されるコークス、すなわち、高炉で用いられるコークスについては高炉用コークスとして別途計上した。「銑鉄」部門へ計上されているコークス消費量 33,167,799t のうち、鉄鋼統計から焼結炉用による使用率を 11%として、29,356,819t を高炉用コークスとした。表 2-6 に鉄鋼統計の記載値と、本推計における「銑鉄」部門のコークス消費量を示す。

表 2-6 「銑鉄」部門におけるコークス消費量

	高炉用 (t)	高炉用割合	その他 (t)	その他割合	合計 (t)
鉄鋼統計	30,882,129	0.89	4,008,989	0.11	34,891,118
本推計	29,356,819	0.89	3,810,980	0.11	33,167,799

2.4.4 コークス炉ガス(COG)

コークス炉ガス(COG:Coke Oven Gas)の総生産量は部門別品目別国内生産額表⁶⁾から 15,947×10⁶m³とした。COG の生産部門は、連関表では「その他の石炭製品」部門が該当する。ただし、この部門は COG の他、煉炭・豆炭、コールタール、粗ベンゾール等を生産する複数財の混合部門である。本推計では各部門における消費量の算出は、総量を「その他の石炭製品」部門の産出額で按分する方法をとった。しかし、COG 以外の財を購入していると考えられる部門は除外した。

一方、部門間で単価の違いがないと仮定する価格配分では、COG の主な発生部門である「石炭製品」部門や、発生先からパイプラインでつながり供給されている共同火力が該当する「事業用電力」における消費量が過小となる。公表統計表からも他部門と比較し COG 消費量が大きいことが確認できる。本推計では、「石炭製品」における消費量を需給統計から、「事業用電力」へは『電力需給の概要』²⁴⁻²⁵⁾から引用した。また、「都市ガス」部門における消費量はエネバラ表から引用した。

表 2-7 に推計した各部門の COG 消費量を示す。

表 2-7 各部門におけるコークス炉ガス消費量

基本分類コード	部門名	COG消費量 1000m ³
201101	アンモニア	58,937
201102	化学肥料	54,167
202901	無機顔料	11,349
202902	圧縮ガス・液化ガス	6,743
203202	環式中間物	155,867
207909	その他の化学最終製品	10,801
212101	石炭製品	3,336,118
221101	プラスチック製品	4,112
252101	セメント	2,303
252301	セメント製品	1,590
259909	その他の窯業土石	322,535
261101	銑鉄	4,596,301
261102	フェロアロイ	3,399
261103	粗鋼(転炉)	284,815
261104	粗鋼(電気炉)	26,480
262101	熱間圧延鋼材	2,053,796
262201	鋼管	451,648
262301	冷間仕上鋼材	1,034,053
262302	めっき鋼材	530,541
263101	鋳鍛鋼	95,286
263103	鋳鉄品及び鍛工品	1,700
271102	鉛・亜鉛	62,171
511102	事業用発電	3,021,502
511104	自家発電	428,786
512101	都市ガス	607,000
合計		16,554,998

2.4.5 高炉ガス(BFG)

高炉ガス(BFG:Blast Furnace Gas)の消費量は、エネバラ表から 1995 年のエネルギー転換部門(鉄鋼系ガス)からの高炉ガス、転炉ガス合計発生量 129,549×10⁶m³のうち、約 92.7%に相当する 120,049×10⁶m³と見積もった。エネバラ表では物量消費量から熱量換算する際、発熱量を加重平均

した 888kcal/m³としている。エネバラ表における個々の発熱量は高炉ガスが 800kcal/m³、転炉ガスが 2,000kcal/m³であることから、約 92.7%が高炉ガス分であると仮定した。

各部門における消費量は、高炉ガス・転炉ガスの生産部門に相当する「その他の石炭製品」部門からの産出先のうち、特殊分類符号 4(副産物投入)の付いた部門の産出額の大きさに按分して求めた。「その他の石炭製品」部門における副産物は副産物表から、炭田ガス、高炉ガス、転炉ガスであることが確認できる。ただし、他の統計では消費実績が確認できないことから「その他の有機化学工業製品」を除外した。

BFG はコークス起源の未反応 CO であるため、高炉で使用されるコークスが全て燃焼した計算に、BFG 燃焼分を更に加えるとダブルカウントとなる。したがって、本研究ではこれを回避するため、原料種の項目として「BFG 発生」を設け、BFG 発生分をマイナス計上した。発生量は 120,049×10⁶m³とし、部門は「その他の石炭製品」部門の副産物発生が記載されている、すなわち特殊分類符号 5(副産物発生)の付いた部門から選び、「銑鉄」部門へ計上した。

2.4.6 転炉ガス(LDG)

転炉ガス(LDG:Linz Donawitz Gas)の総消費量は、エネバラ表の高炉ガス、転炉ガス合計消費量のうち約 7.3%に相当する 9,500×10⁶m³とした。消費部門は高炉ガスと同様とした。

転炉ガスはコークス起源のカスケード利用されているガスである。銑鉄中のコークス由来の未燃炭素分と酸素を反応させたときに発生するガスであるため、コークスを全て燃焼させた計算条件下で、転炉ガスを加算するとダブルカウントとなる。したがって、本研究では高炉ガスと同手法により、「粗鋼(転炉)」部門へ転炉ガス発生分をマイナス計上した。

2.5 石油系燃料消費量の推計

2.5.1 原油

各部門における原油消費量は物量表の値を用いた。

2.5.2 A 重油

各部門における A 重油消費量は物量表の値を用いた。

2.5.3 B・C 重油

各種統計表の定義の違いにより流通量に大きな違いが確認された。国内生産量は物量表が 4,832 万kℓ、需給統計が 4,925 万kℓ、エネバラ表では 4,821 万kℓと極端なずれはないが、輸出量を見ると、大きな違いが生じている。特に、エネバラ表における輸出量が大きく、これはボンド油の扱い方の違いに原因がある。B・C 重油の場合、そのほとんどが外航船舶に供給されており、外航船舶は日本籍船と外国籍船に大別される。物量表と需給統計ではボンド油のうち日本籍外航船舶供給分を保税輸

出として計上せず、外国籍船舶への供給量のみを計上している。一方、エネバラ表では保税地区への流通をすべて輸出扱いとしているため、このような乖離が起こっている。

本推計では問題となる外航船舶活動の該当部門である「外洋輸送」部門の定義が、日本籍である外航船舶活動全てを国内生産活動として考えることから⁹⁾、日本籍船へのボンド油供給は輸出扱いとせず国内流通とし、ボンド油としての輸出は外国籍船への供給量のみとした。「外洋輸送」部門に計上される B・C 重油は日本籍船舶の日本国内での給油、外国港での給油、用船の給油であり、外国港での給油分は輸入(特殊)として物量表では計上される。「外洋輸送」部門における B・C 重油の計上範囲を図 2-2 にまとめる。

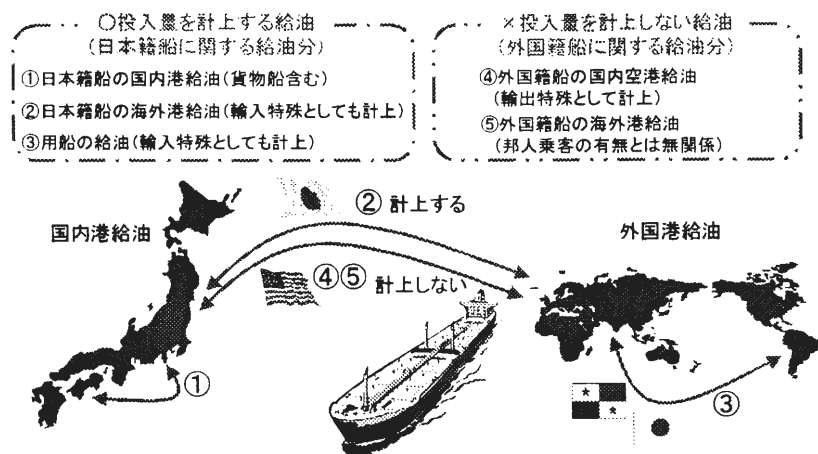


図 2-2 「外洋輸送」部門における B・C 重油の計上範囲

しかし、これらの消費量に相当する物量表の「外洋輸送」の重油消費量 6,177 万klは明らかに過小であり、その為、「外洋輸送」を除く部門への供給量はエネバラ表では 4,235 万kl、需給統計では 4,263 万klであるのに対し、物量表は 4,693 万klと、やや過大となっている。本推計では総量の調整及び主要部門における消費量の修正を次のように行った。まず、「外洋輸送」の重油消費量に船舶業界提供資料より国内給油分 5,570 万klと海外港給油分 7,597 万klとの合計値 13,167 万klを計上した。

また、「事業用電力」部門の消費量 2,330 万klは他統計と比較し過剰と思われるため、電力需給の概要より 1,853 万klへと修正した。これらの調整により、国内供給量は 4,125 万klとなり、エネバラ表、需給統計とも近似することを確認したが、修正した 2 部門以外における供給バランスの妥当性を検討する必要がある。

2.5.4 灯油

各部門における灯油消費量は物量表の値を用いた。ただし、「石油製品」部門に計上されている消費量には、輸入した軽油をわが国の規格に合わせるため、再精製する量が含まれている。したがって、本推計では当該部門の全投入量のうち、輸入額相当分を控除し計上した。

2.5.5 軽油

各部門における灯油消費量は物量表の値を用いたが、「事業用電力」部門における消費量が電力需給の概要と比較し、約 40%の消費量しか計上されていないため修正した。電力需給の概要の掲載値を引用した。また、「石油製品」部門における消費量は灯油と同じ推計をした。

2.5.6 揮発油

各部門における揮発油消費量は物量表の値を用いた。「石油製品」部門については、灯油と同様である。

2.5.7 ジェット燃料油

国内生産量は物量表、需給統計と共に同じ値となっており、ジェット燃料油のほとんどは「航空輸送」部門で消費されている。この「航空輸送」部門の活動範囲を確認すると、「航空輸送」部門に投入されるジェット燃料油は日本籍機が国内線、国際線を問わず給油した量が計上され、外国空港での日本機への給油分も加算される⁹⁾。外国空港での給油分は輸入(特殊貿易)として別に記載される。ジェット燃料油の計上範囲を図 2-3 にまとめる。

物量表では輸入(特殊貿易)の値は、国際収支のバランスから得た取引額に、輸入(普通貿易)と同じ平均単価を乗算し物量を逆算している。そのため、為替変動や内外での価格の相違などの影響を受けやすく、物量が 828 万klと拡大している。物量表で普通貿易として輸入されるジェット燃料油は需給統計ではボンド扱いで輸入されている。この違いは物量表の値が貿易統計から引用され、貿易統計がボンド扱い輸入と普通貿易との区別なく記載されていることから生じている。

本推計では「航空輸送」部門への投入量を『航空統計年報』²⁶⁾から引用し 962 万klとして、当該部門へ過剰に投入されることを避けた。また、その他の消費部門へは国内供給量から、航空輸送部門への投入量を差し引いた残量を生産者価格で按分する方法を取った。「航空輸送」部門へ投入量のうち、輸入(特殊貿易)該当分を 293 万klとした。

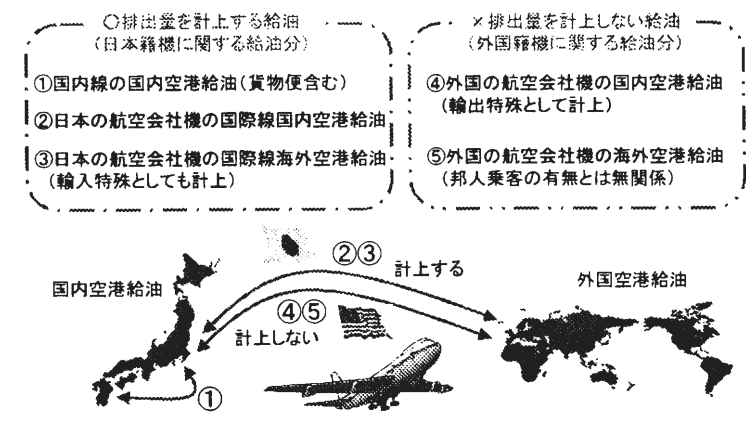


図 2-3 「航空輸送」部門におけるジェット燃料油の計上範囲

2.5.8 ナフサ

国内供給量は他統計と比較し、大きな相違がないことを確認し、物量表の値を採用した。本推計ではナフサの石油化学関連部門への投入は全て原料用として使用されるものとし、石油化学関連部門のナフサ起源の燃焼は、後述する石油系炭化水素ガスおよび炭化水素油として生ずるとした。ナフサの分解過程は物量表では「石油化学基礎製品」、「石油化学芳香族製品」部門に該当し、それぞれ 3,464 万 kℓ, 1,104 kℓ 投入されており、石油系炭化水素ガスの発生量を構造統計から得られる 642,939 万 m³, 炭化水素油を 234 万 kℓ とすれば、その副生割合は約 19% となり文献値²⁷⁾と近似する。ただし、比重をナフサ 0.69, 石油系炭化水素ガス 0.716 (メタン扱い), 炭化水素油 0.85 として計算した。また「アンモニア」部門で消費されるナフサは水素の抽出を目的として使用され、同時に CO₂ が発生し、炭酸ガス、ドライアイスへと加工され他部門で利用されている。ヒアリングによると平成 7 年の炭酸ガス市場流通量は約 77 万 t, ドライアイスは約 20 万 t であるが、消費部門の詳細が把握できなかったことから、本推計ではこれらを計上していない。

2.5.9 石油系炭化水素ガス

総消費量は構造統計から原料用を除いた 146,775 万 m³ とし、構造統計における各部門での消費量を連関表付帯の工業統計コード対応表⁶⁾ (以下: 対応表) を用いて、連関表各部門へ配分した。対応表では工業統計部門分類の連関表非サービス部門との対応割合が記載されているが、連関表のサービス部門には対応割合の記載はない。したがって、対応表掲載値をそのまま利用すると、石油系炭化水素ガス消費量の一部が連関表へ割り振られなくなるため、本推計では本来サービス部門への投入量されるべき消費量も生産部門へ割り振りをした。

構造統計による石油系炭化水素ガスには石油精製過程に伴って排出される製油所ガスも含まれている。先に述べた分配により石油精製該当部門である「石油製品」部門へは 84,511 Mcal が投入される。エネバラ表に製油所ガス石油精製部門消費量が 89,270 Mcal と記載されていることから、これは製油所ガスと同一であると判断できる。したがって二重加算を回避するため本推計では製油所ガスとしての計上はない。

2.5.10 炭化水素油

各部門の消費量は石油系炭化水素ガスと同様に 197 万 kℓ をそれぞれ分配した。

2.5.11 石油コークス

各部門の消費量は石油系炭化水素ガスと同様に 315 万 t をそれぞれ分配した。

2.5.12 液化石油ガス (LPG)

税率や供給形態の違いから自動車用、家庭用の液化石油ガス (LPG: Liquefied Petroleum Gas) は工業用より高価であるが、物量表は平均単価の割戻しで作成されるため、その値は実態と大きく乖離する。副産物扱いの単価が主産物より安価になっているのは、副産物が工業用のみの単価に近く、

主産物単価は自動車用単価の影響を大きく受けているからである。しかし、非自動車用を含めて平均化された単価は、実際の自動用単価より安価となるため、輸送部門における LPG 消費が過剰となり、逆に、他部門の消費量が過小になる傾向がある。この現象を是正するため、需給統計より 7 項目に分類された主な用途別消費量を引用し、連関表該当部門の生産者価格でそれぞれ比例配分した。ただし、化学原料用、工業用、鉄鋼用の分類の活動範囲と連関表該当部門との的確な対応が困難であったため、これら 3 部門を統括した。即ち、統合工業用、自動車用、都市ガス用、発電用、家庭燃料用に大別し総計 1,978 万 t を計上した。

生産者価格での分配は副産物投入額も含めた額で行い、副産物発生額のマイナス計上額は無視する扱いとした。この副産物はいわゆる石油系炭化水素ガスであり、本推計ではこれを独立して扱っているため、各部門における LPG 消費量から副産物発生額相当分を控除することは適当ではない。これは副産物発生量が「石油化学基礎製品」部門へのナフサ投入量に対し係数 0.188 を乗算し算出されていることから確認できる。また物量表における副産物投入額は産出額との整合性を保つため LPG 消費額を主産物と副産物に分配したものであるから、主産物投入額と副産物投入額の和を各部門における LPG 投入額とした。

2.6 天然ガス系燃料消費量の推計

2.6.1 天然ガス・液化天然ガス (LNG)

各部門における天然ガス、液化天然ガス (LNG: Liquefied Natural Gas) 消費量は物量表の値を用いた。物量表では天然ガス、LNG は分離されておらず、天然ガスを LNG に換算して計上されている。

2.6.2 都市ガス

各部門における都市ガス消費量は物量表の値を用いた。

2.7 その他の原燃料消費量の推計

2.7.1 黒液・廃材

『紙・パルプ統計』²⁸⁾ から「パルプ」、「洋紙・和紙」、「板紙」部門に対する黒液および廃材消費量を引用した。

2.7.2 廃タイヤ

発生する廃タイヤのうち、熱利用される量を部門別に計上した。文献値による消費先はセメント焼成炉等、中・小型ボイラー用、金属製錬、タイヤメーカー工場用、製紙の分類であった。これらを産業連関表部門と対応をとり、総量を 37 万 t とし表 2-8 の示す部門に計上した²⁹⁾。

中・小型ボイラー用である廃タイヤ消費は産業部門が特定できないため、本研究では元より消費量の多いセメント部門に計上した。また、金属製錬は産業連関表では 4 部門に対応するが、配分に適した指標がないことから、各部門のエネルギー消費量の大きさを分配した。したがって、廃タイヤの利用が補足的な熱利用であることから、その利用は各部門における総エネルギー消費量に比例すると仮定した。

表 2-8 熱利用を目的とした廃タイヤ消費量

部門名	廃タイヤ消費量 t
洋紙・和紙	26,000
タイヤ・チューブ	32,000
セメント	275,000
銅	5,578
鉛・亜鉛(含再生)	10,473
アルミニウム(含再生)	14,847
その他の非鉄金属地金	6,102
合計	370,000

2.7.3 一般廃棄物

一般廃棄物焼却量は文献値³⁰⁾から「廃棄物処理(公営)」部門に全量を計上した。

2.7.4 産業廃棄物

産業廃棄物は各産業で処理されている場合が多く、部門毎に産業廃棄物の焼却量を計上することが望ましい。しかし、約 400 部門分類で推計可能な産業廃棄物に関する統計が整備されていないこと、産業連関表では産業廃棄物処理に関するアクティビティーは分離され、「廃棄物処理(産業)」に集約されていると考えられることから、本研究では当該部門へ全量³⁰⁾を計上した。

2.8 燃烧用途率の設定

燃料種の多くは用途に合わせ、その物性が均一化するよう精製される。例えば、原油から各石油製品が精製され、原料炭からコークスが生成される。各部門におけるエネルギー消費量を求める場合、最終的に燃烧される消費量を把握し、精製以前の物質が二重に燃烧することを回避する必要がある。

本研究では各部門における燃料消費量に対し、燃烧用途率を設定することで、これに対応した。燃烧用途率は標準値として 1 を与え、エネルギー転換用、原料用とされる燃料種に関しては 0 とした。以下に燃烧用途率を 0 に設定した部門と原燃料種を記述する。

2.8.1 エネルギー転換用

エネルギー転換用と考え、燃烧用途率を 0 とした部門と燃料種を表 2-9 に示す。「石油製品」部門に

おける原油は揮発油や軽油など石油製品へ転換され燃烧される。また、「石炭製品」部門における原料炭は乾留後コークスとして利用され、乾留時の発生ガスである COG は別途燃烧される。ゆえに、当該部門の原油および原料炭の燃烧用途率を 0 と設定した。

都市ガスを燃料種の一つとして計上しているため、「都市ガス」部門に一旦投入され、都市ガスとして他部門へ供給される燃料種についても燃烧用途率を 0 とした。

表 2-9 エネルギー転換用として燃烧用途率を設定した部門と燃料種

消費部門	原燃料種	用途
石油製品	原油	石油製品へ転換
石炭製品	原料炭	コークスへ転換
都市ガス	原料炭	都市ガスへ転換
都市ガス	LNG・天然ガス	都市ガスへ転換
都市ガス	ナフサ	都市ガスへ転換
都市ガス	LPG	都市ガスへ転換
都市ガス	COG	都市ガスへ転換

2.8.2 原料用

化学製品原料としてナフサや LPG が利用される。化学製品は最終的には一般廃棄物または産業廃棄物として燃烧される。したがって、表 2-10 に示す部門における燃料消費は原料用であるとし、燃烧用途率を 0 とした。

表 2-10 原料用として燃烧用途率を設定した部門と燃料種

消費部門	原燃料種	用途
アンモニア	ナフサ	化学製品原料
化学肥料	ナフサ	化学製品原料
石油化学基礎製品	ナフサ	化学製品原料
石油化学基礎製品	LPG	化学製品原料
石油化学系芳香族製品	ナフサ	化学製品原料
脂肪族中間物	ナフサ	化学製品原料
環式中間物	ナフサ	化学製品原料
合成ゴム	ナフサ	化学製品原料
メタン誘導品	ナフサ	化学製品原料
油脂加工製品	ナフサ	化学製品原料
可塑剤	ナフサ	化学製品原料
合成染料	ナフサ	化学製品原料
その他の有機化学工業製品	ナフサ	化学製品原料

2.9 燃料種別エネルギー消費量の算出

部門 i における原燃料種 k の消費量 m_{ik} に燃烧用途率 t_{ik} を乗じたものに、単位あたりの発熱量 q_k を掛け合わせたものをエネルギー消費量 h_{ik} とする。

$$h_{ik} = q_k t_{ik} m_{ik} \quad (2-14)$$

発熱量 q_k は表 2-11 に示す値を用いた。データベースには従来から多く利用されてきた cal 単位と SI 単位系に準じた J 表記によるものを併記する。

表 2-11 原燃料種別単位物量あたりの発熱量

原燃料種名	発熱量(1cal=4.18605J)		単位物量
	×10 ⁷ kcal	×10 ⁷ kJ	
原料炭	0.76	3.18	/t
一般炭・亜炭・無煙炭	0.62	2.60	/t
コークス	0.72	3.01	/t
コークス炉ガス(COG)	0.48	2.01	/1000Nm ³
高炉ガス(BFG)	0.08	0.33	/1000Nm ³
転炉ガス(LDG)	0.2	0.84	/1000Nm ³
原油	0.925	3.87	/kL
A重油	0.93	3.89	/kL
B重油・C重油	0.98	4.10	/kL
灯油	0.89	3.73	/kL
軽油	0.92	3.85	/kL
揮発油	0.84	3.52	/kL
ジェット燃料油	0.86	3.60	/kL
ナフサ	0.8	3.35	/kL
石油系炭化水素ガス(含製油所ガス)	0.94	3.93	/1000Nm ³
炭化水素油	0.98	4.10	/kl
石油コークス	0.85	3.56	/t
液化石油ガス(LPG)	1.2	5.02	/t
天然ガス・LNG	1.3	5.44	/t
都市ガス	1	4.19	/1000Nm ³
回収黒液	0.3	1.26	/絶乾t
廃材	0.3	1.26	/絶乾t
廃タイヤ	0.857	3.59	/t
一般廃棄物	0.21	0.89	/t
産業廃棄物	0.30	1.26	/t

2.10 CO₂ 排出量の算出

CO₂ 回収技術が研究段階であり、一般的に普及していない現状であることから、CO₂ 排出量の推計は式(2-15)のように各部門の燃料種別のエネルギー消費量に各々の CO₂ 排出係数を乗じて行った。ただし、バイオマス系の燃料である回収黒液および廃材については CO₂ 排出係数を与えるものの、各部門の排出量としては計上しない。また、廃棄物の排出係数はバイオマス系廃棄物からの排出量を除いた値である³¹⁾。さらに、本推計では非化石燃料起源としてセメント製造などに伴う化学反応により CO₂ を発生する石灰石からの排出量を加算した。

$$D_i = \sum_k f_k h_{ik} \quad (2-15)$$

ここで、 D_i は部門 i の直接 CO₂ 排出量、 f_k は燃料 k に関する CO₂ 排出係数、 h_{ik} は部門 i における燃料 k に関するエネルギー消費量(石灰石の場合は物量消費量)である。

表 2-12 に用いた原燃料種別 CO₂ 排出係数を示す。

表 2-12 原燃料種別 CO₂ 排出係数

原燃料種名	発熱量(1cal=4.18605J)		備考
	t-C/10 ⁷ kcal	Mg-CO ₂ /10 ⁷ kJ	
原料炭	0.99	0.87	
一般炭・亜炭・無煙炭	1.03	0.91	
コークス	1.23	1.08	
コークス炉ガス(COG)	0.46	0.40	
高炉ガス(BFG)	1.23	1.08	コークスと同値
転炉ガス(LDG)	1.23	1.08	コークスと同値
原油	0.78	0.68	
A重油	0.79	0.69	
B重油・C重油	0.818	0.72	
灯油	0.775	0.68	
軽油	0.784	0.69	
揮発油	0.766	0.67	
ジェット燃料油	0.767	0.67	
ナフサ	0.761	0.67	
石油系炭化水素ガス(含製油所ガス)	0.592	0.52	
炭化水素油	0.88	0.77	
石油コークス	1.061	0.93	
液化石油ガス(LPG)	0.683	0.60	
天然ガス・LNG	0.564	0.49	
都市ガス	0.557	0.49	
回収黒液	1.075	0.94	排出量に含めず
廃材	1.075	0.94	排出量に含めず
廃タイヤ	0.877	0.77	
一般廃棄物	0.34	0.30	非バイオマス系
産業廃棄物	1.01	0.88	非バイオマス系
石灰石	0.12	0.44	1tあたりの排出量

2.10.1 石灰石

物量表には石灰石消費量が掲載されているが、これは利用方法の違いから CO₂ を排出しない石灰石消費量が含まれているため、他統計から CO₂ 排出に寄与すると考えられる消費量を引用した。

鉄鋼、セメント、ガラス製造部門で使用される石灰石は CO₂ を排出する。消石灰、生石灰の生成に要する石灰石も CO₂ 排出起源である。産業連関表では消石灰および生石灰は「その他の窯業・土石製品」部門に含まれ、この部門が複数の生産財の集合部門であるため、消石灰、生石灰の生産用に使用された石灰石消費量を計上すると、実際にはそれらを消費していない部門にまでレオンチェフ逆行列による波及効果が及ぶことが懸念される。したがって、本推計では消石灰、生石灰を消費した部門へ、その消費量に必要な石灰石生産量を計上し、実際には消石灰、生石灰生産部門で生じる排出が消費部門で生じたとみなす方法を採用した。

鉄鋼関連の石灰石、消石灰、生石灰消費量は鉄鋼統計から、セメント用は『鉱業便覧』³²⁾から、ガラス製造用は『窯業建材統計』³³⁾から引用した。農業、化学工業、建設、発電、上下水道で使用する消石灰、生石灰に関する消費量は『石灰用途別需要動向』³⁴⁾から推計した。

2.10.2 カスケード利用に伴う排出量の配分

高炉ガス(BFG)はコークスをCOへ酸化させ、酸化鉄の還元ガスとして利用した後の未反応COや反応後のCO₂を主とするガスである。このCOを燃焼させ、製鋼や圧延などの工程で熱を利用している。すなわち、コークスの由来の熱を多段階利用(カスケード利用)しているのである。

高炉ガスは発熱量が小さい上、コークス起源の炭素の大部分を含むため、実際の組成では非常に高い CO₂ 排出係数を持つ。また、転炉ガス(LDG)も転炉において、鉄の不純物、特に炭素分を酸化反応により除去した後の CO や CO₂ を含むガスであり、高炉ガスと同様にカスケード利用され、発熱量が小さく排出係数が高い。したがって、高炉ガスや転炉ガスを利用する部門では、熱の消費量は少ないにも関わらず CO₂ の排出量が高くなる。図 2-4(鉄鋼協会資料³⁵⁾に基づき筆者作成)は鉄鋼関連部門におけるエネルギーと炭素量の流れを示したものであるが、原料炭の炭素量を 100 とすると、製鋼や発電といった副生ガスを発生しないが、利用する部門の炭素量は 60 となり、エネルギー消費量が 32 と小さい(原料炭の持つエネルギー量を 100)。逆に、「銑鉄」部門に相当する工程では副生ガスの再投入を含めて、エネルギー消費量が 59、炭素量が石灰石投入分を含めて 32 となり、単位熱量あたりの炭素量の差は約 3.3 倍にも広がっている。

ここで、カスケード利用に伴う CO₂ 排出量の配分方法が問題となる。配分方法により、原単位の値が大きく異なるため、明確な手法を記すことは重要である。本推計では、高炉ガスや転炉ガスの消費に伴う CO₂ 排出量を、実際の排出量の大きさではなく、エネルギー消費の大きさに各部門に割り当てた。エネルギー消費の大きさに CO₂ を配分することによって、熱の獲得が目的であるが、製鋼工程の流れ上、特定の部門が CO₂ 排出量を大きく請け負うことを回避し、元来、コークスの炭素成分が重要な利用目的の一つである「銑鉄」部門へ客観的に CO₂ 排出量を配分することができる。

具体的には、コークスを消費する部門では、その消費に伴う CO₂ 発生量は当該部門へ全て計上し、高炉ガスおよび転炉ガスを発生する部門においては、その発生熱量に相当する CO₂ 発生量を差し引いた。このとき、高炉ガスおよび転炉ガスは、実際の組成に基づく CO₂ 排出係数³⁵⁾（高炉ガス：3.16t-C/10⁷kcal、転炉ガス：2.06 t-C/10⁷kcal）を用いず、コークスと同じ 1.23t-C/10⁷kcal を用いて、これら副生ガスの熱消費量に乗じて、差し引く CO₂ を算出した（これを「BFG 発生」、「LDG 発生」として区分）。同様に、高炉ガス・転炉ガス消費部門では消費熱量とコークスと同じ排出係数から CO₂ 排出量を決定した（これを「BFG 消費」、「LDG 消費」と区分）。

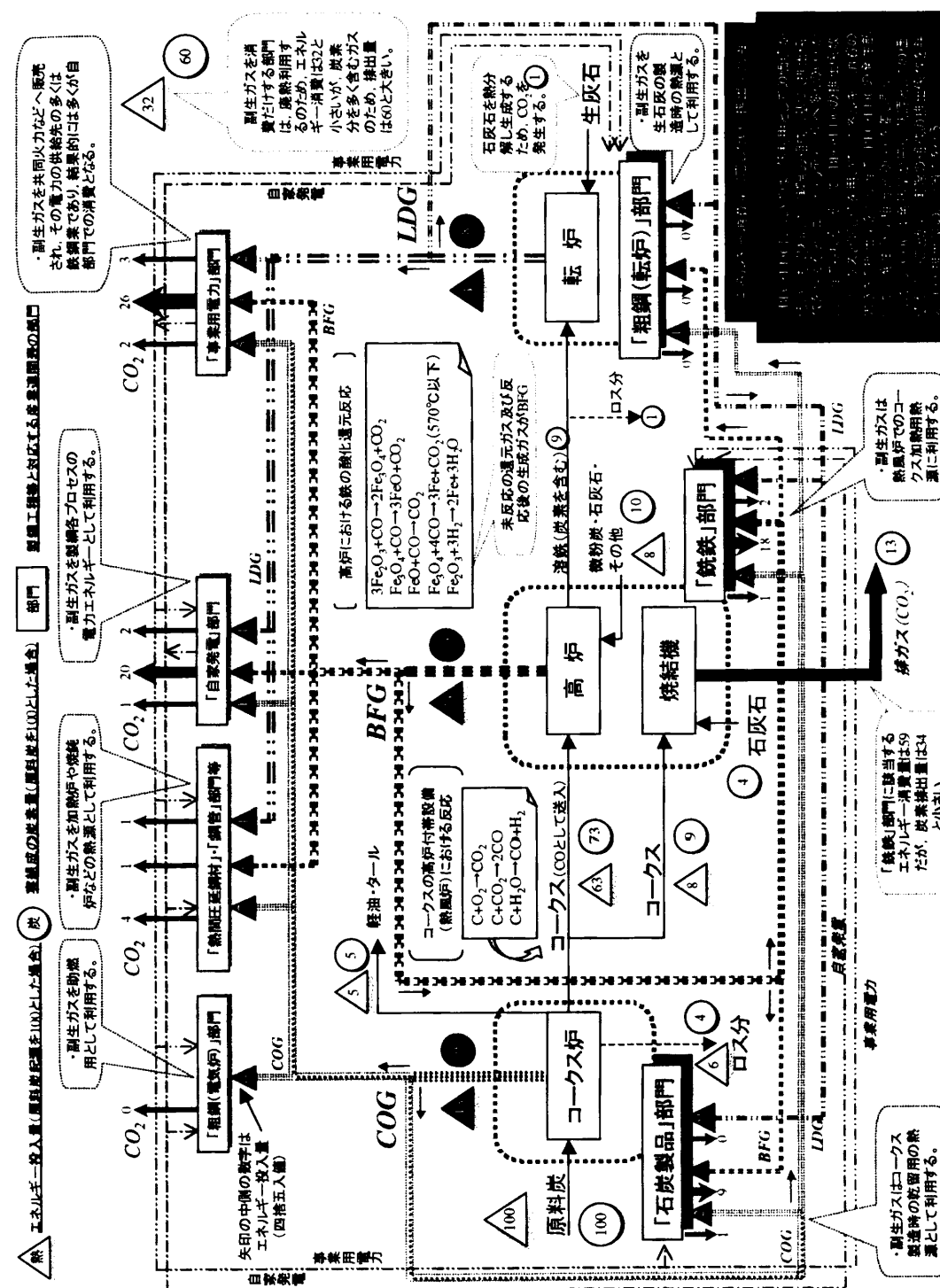


図2-4 鉄鋼関連部門におけるエネルギーと炭素の流れ

2.11 固定発生源からの NO_x, SO_x, PM 排出量の推計

大気汚染物質である NO_x, SO_x および PM は排出防止策が採られている。脱硝装置や低 NO_x バーナーの利用、脱硫装置や集じん機などは多くの産業で設置されている。これらの大気汚染物質は化石燃料の燃焼に伴い発生するが、排出抑制技術の種類や効果が燃料の利用先で異なるため、CO₂ のように燃料種ごとの排出係数を与えることは適切ではない。したがって、燃料種別、産業分類別の NO_x, SO_x および PM 排出係数が必要となる。

本研究では、環境庁報告書³⁶⁾に記述されている「大気汚染物質排出量総合調査(MAP 調査)」の1995 年の実施結果から算出された原燃料種別、業種別、炉種別排出係数を固定発生源に関する排出係数として利用した。これらの係数はわが国の脱硝、脱硫、集じん技術の設置状況を反映した実態に近い値である。大気汚染物質の発生源として非化石燃料によるものがある。例えば、鉄スクラップなどの溶解に利用する電気炉では、サーマル NO_x が発生、非鉄金属精錬工程では原料となる鉱石に含まれている硫黄分が酸化し SO_x が発生する。本推計では、これらの非化石燃料由来の発生量についても推計対象とした。

2.11.1 固定発生源に関する排出係数

固定発生源で使用されている燃料種については、報告書³⁶⁾から該当する大気汚染物質排出係数を引用し、式(2-16)のようにエネルギー消費量に乗じて排出量を求めた。

$$p_{ik} = f'_{ik} h_{ik} \quad (2-16)$$

ここで、 p_{ik} は部門 i における燃料 k による大気汚染物質排出量、 f'_{ik} は部門 i における燃料 k に関する大気汚染物質排出係数、 h_{ik} はエネルギー消費量である。

次に、固定発生源に関する排出係数の作成方法について簡単に説明する。MAP 調査は大気污染防治法第2 条第2 項で規定された「ばい煙発生施設」を設置する工場や事業場の施設(電気事業法およびガス事業法に規定されたばい煙発生施設、鉱山保安法により規定される施設を含む)、都道府県の条例によって規制の対象とされている施設を含む合計約 202,000 施設が対象となっている。

燃料種 32 分類、75 業種、159 炉種別に燃料種別に燃料消費量と NO_x, SO_x, ばいじん排出量を集計した結果から計算されたそれぞれの排出係数から、産業連関表部門に適応する排出係数が作成されている。産業連関表は約 400 部門分類であるため、各部門における燃料の消費形態を一つの炉種に対応させることが難しい。つまり、複数の炉で燃焼された燃料消費量の合計値が、産業連関表部門の燃料消費量として計上されていると考えられることから、複数の炉の平均的な排出係数を求め、対応させることが必要である。平均的な排出係数は業種、燃料種別に次の2 通りの係数を考えた。

- ① 発電に関する炉と廃棄物処理に関する炉を除く全ての炉に関する平均排出係数(以下 EF_{exc} と呼ぶ)
- ② 廃棄物処理に関する炉を除く全ての炉に関する平均排出係数(発電関連炉を含む)(以下 EF_{mc} と呼ぶ)

これは産業連関表の「自家発電」部門に関する原燃料消費量の推計根拠により対応させる排出係

数が異なるからである。産業連関表はアクティビティーに基づく部門分類であるため自家発電が独立部門として設けられている。したがって、各部門における燃料消費量のうち、自家発電用として使用された消費量を分離し、「自家発電」部門に計上する必要がある。しかし、コージェネレーションシステム等の導入を背景として、そのエネルギー消費量の配分を発電側だけでなく、熱需要側への割り当てについて考慮しなければならない。

本推計におけるエネルギー消費量の推計では、自家発電に要したエネルギーを全て発電需要に帰属させるエネバラ表のエネルギー消費量を基準とすると、自家発電に関するエネルギー消費量の約 6 割が「自家発電」部門へ、約 4 割が熱需要として各部門に帰属することになっている。すなわち、自家発電に関する配分方法により、最も適した平均排出係数が異なるため、2 通りの平均排出係数を作成し、本推計におけるエネルギー消費量との適正を検討した。

2.12 固定発生源における非化石燃料起源

固定発生源における大気汚染物質の排出は非化石燃料に由来するものがある。以下にそれらの消費量の推計方法を述べる。

2.12.1 電気炉用電力消費量

小規模の製鉄所やスクラップなどの溶解に利用する電気炉は高温になることから空気中の窒素を酸化し、サーマル NO_x を発生させる。したがって、通常の電力消費とは別に NO_x の発生源として消費量を推計した。対象とした電気炉用電力消費部門は製鉄製鋼用電気炉の利用が対応する「粗鋼(電気炉)」部門、合金用電気炉が対応する「フェロアロイ」部門、カルシウムカーバイド用電気炉の「その他の無機化学工業製品」部門である。また、炉は金属の溶解などに電力を使用している自動車製造に該当する部門についても電力消費量を計上した。

鉄鋼関連部門における電気炉用電力消費量は表 2-13 のように物量表と鉄鋼統計では異なっているが、本研究では鉄鋼統計の値を採用し、「粗鋼(電気炉)」部門に 15,617×10⁶kWh、「フェロアロイ」部門に 2,330×10⁶kWh をそれぞれ計上した。また、「その他の無機化学工業製品」部門に関する電力消費量は、化学工業統計³⁷⁾よりカルシウムカーバイド及び石灰窒素製造に要した 902×10⁶kWh とした。

表 2-13 鉄鋼業に関する電気炉用電力消費の統計間比較

部門名	物量表 10 ⁶ kWh	鉄鋼統計 10 ⁶ kWh
粗鋼(電気炉)	10,016	15,617
フェロアロイ	2,363	2,330
合計	12,379	17,947

自動車製造関連部門における NO_x の発生に関与する電力消費量は公表統計から引用することが

できなかった。ここでは、MAP 調査における自動車製造関連業の金属溶解用電力消費量を参考に、物量表に記載の事業用電力と自家発電による電力消費量の 7%を電気炉用電力として計上した。自動車製造関連部門と推計した電気炉用電力消費量を表 2-14 に示す。

表 2-14 自動車製造部門における NO_x 発生に関する電力消費量

部門名	電力消費量 10 ⁶ kWh
乗用車	170
トラック・バス・その他の自動車	50
二輪自動車	10
自動車車体	51
自動車用内燃機関・同部分品	267
自動車部品	442
合計	990

2.12.2 原料鉱石消費量

鉄鉱石、非鉄金属鉱石には硫黄分が含まれており、金属精錬時に SO_xとして排出される。鉄鉱石起源の SO_xは高炉中に発生する。高炉中の S 分の 90%はコークス由来であり、その内 85%～90%は高炉スラグに吸収され、その後、セメント原料や煉瓦などに利用される³⁸⁾。鉄鉱石起源の SO_xは高炉ガスに含まれることから、本研究では鉄鉱石の消費量は計上しなかった。

非鉄金属鉱石の硫黄分は回収後、利用されているが、SO_xとして大気中にも排出される。産業連関表で非鉄金属精錬部門に該当するのは、「銅」、「鉛・亜鉛(含再生)」、「アルミニウム(含む再生)」、「その他の非鉄金属地金」である。本研究ではアルミニウムは、その大部分が再生アルミニウムであること、「その他の非鉄金属」が複数の非鉄金属の混合部門であり、消費量の推計が困難であることから、「銅」および「鉛・亜鉛(含再生)」部門に鉱石消費量を計上した。消費量は鉱業便覧³²⁾より表 2-15 に示す合計値を採用し、「銅」部門が地金ベースで 1,724×10³t、「鉛・亜鉛(含再生)」部門が鉛鉱、亜鉛鉱の合計 1,211×10³tとした。

表 2-15 非鉄金属精錬部門における原料鉱石消費量

	銅鉱 1000t-地金	鉛鉱 1000t-地金	亜鉛鉱 1000t-地金
国内生産分	1,216	223	660
輸入分	380	70	112
在庫	127	30	116
合計	1,724	323	888

2.12.3 野焼き活動量

PM の非化石燃料起源の排出として農業における野焼きによる発生量を考慮した。野焼きは集じん装置など設置されていないことから、排出係数の高い PM の固定発生源である。1995 年におけるわら類の発生量を推計し、最終焼却処分割合³⁹⁾を乗じて野焼きの活動量とし、野焼きに関する排出係数⁴⁰⁾4kg-PM/t を用いて PM 発生量 2,903t を算出した。表 2-16 に野焼きに関する活動量と PM 排出量を

示す。

表 2-16 野焼きに伴う PM の発生量

	発生量 1000t	最終処分率 %	最終処分量 t	PM排出係数 kg-PM/t	PM発生量 t
わら類	12,096	6	725,788	4	2,903

2.13 原燃料種と固定発生源排出係数の対応と選択

固定発生源に関する排出係数は発電炉を含まない係数(EF_{exc})と含む係数(EF_{inc})があり、本研究におけるエネルギー消費量の推計に対して、どちらを充当すべきかを検討した。まず、燃料種別の排出係数を本研究における原燃料種に対応させた。本推計における原料炭および一般炭・亜炭・無煙炭には石炭の排出係数を対応させ、LNG・天然ガスには LNG、炭化水素油にはその他の液体燃料(重質油)、石油コークスおよび廃タイヤにはその他の固体燃料、原料鉱物には金属鉱石を対応させた。また、高炉用コークスからの NO_x等の発生は高炉ガスへ割り当てることから、排出係数は 0 とした。他の原燃料種については名称が同じものを対応させた。本研究の原燃料種と排出係数の燃料種との対応を表 2-17 にまとめる。

表 2-17 排出係数の原燃料種と本研究における原燃料種との対応

本研究における原燃料種	排出係数の原燃料種
原料炭	石炭
一般炭・亜炭・無煙炭	石炭
コークス	コークス
コークス炉ガス(COG)	コークス炉ガス
高炉ガス(BFG)	高炉ガス
転炉ガス(LDG)	転炉ガス
原油	原油
A重油	A重油
B重油・C重油	B重油・C重油
灯油	灯油
軽油	軽油
揮発油	揮発油
ジェット燃料油	ジェット燃料油
ナフサ	ナフサ
石油系炭化水素ガス(含製油所ガス)	石油系炭化水素ガス
炭化水素油	その他の液体燃料(重質油)
石油コークス	その他の固体燃料
液化石油ガス(LPG)	液化石油ガス(LPG)
天然ガス・LNG	LNG
都市ガス	都市ガス
回収黒液	回収黒液
廃材	廃材
廃タイヤ	その他の固体燃料
一般廃棄物	一般廃棄物
産業廃棄物	産業廃棄物
原料鉱物	金属鉱石

2種類公表されている排出係数の選択方法として、本研究におけるエネルギー消費量に対し、二つの係数をそれぞれ乗じて NO_x 排出量を計算し、MAP調査における NO_x 排出量と比較した。主要燃料からの排出量を部門ごとに比較し、軽油や揮発油など移動発生源に該当する消費形態を採る燃料種については比較しなかった。 SO_x は基本的に燃料の硫黄含有量によるところがあり、 NO_x 排出量に比べ産業部門間で大きなばらつきが少なくと考え、 NO_x のみを検討対象とした。MAP調査における排出量は調査対象施設のみの排出量であるため、わが国の全エネルギー消費を対象とした本研究と比較し、基本的には若干過小となることを考慮し判断した。

比較は自家発電による排出量を含んだ NO_x 排出量で行った。したがって、図2-5のように産業連関表の「自家発電」部門からの NO_x 排出量を「自家発電」部門から他部門への産出額の大きさに配分し、各部門からの直接排出量に加えた値を比較に用いた。

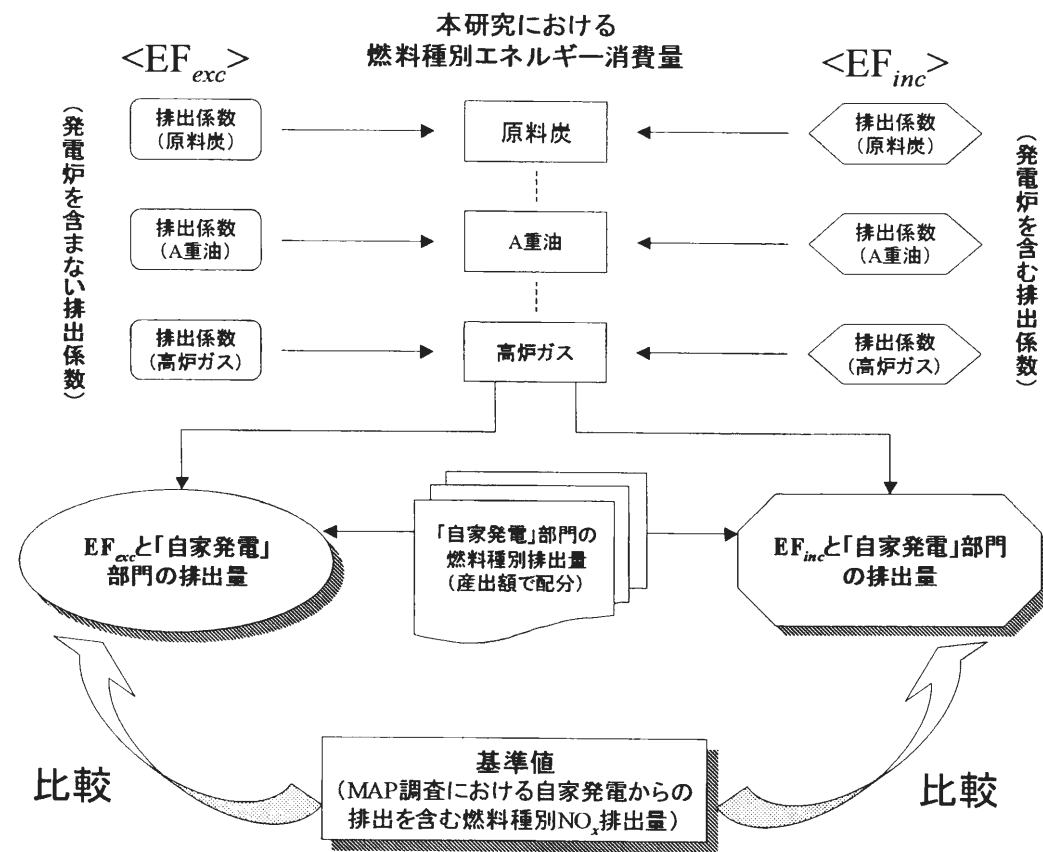
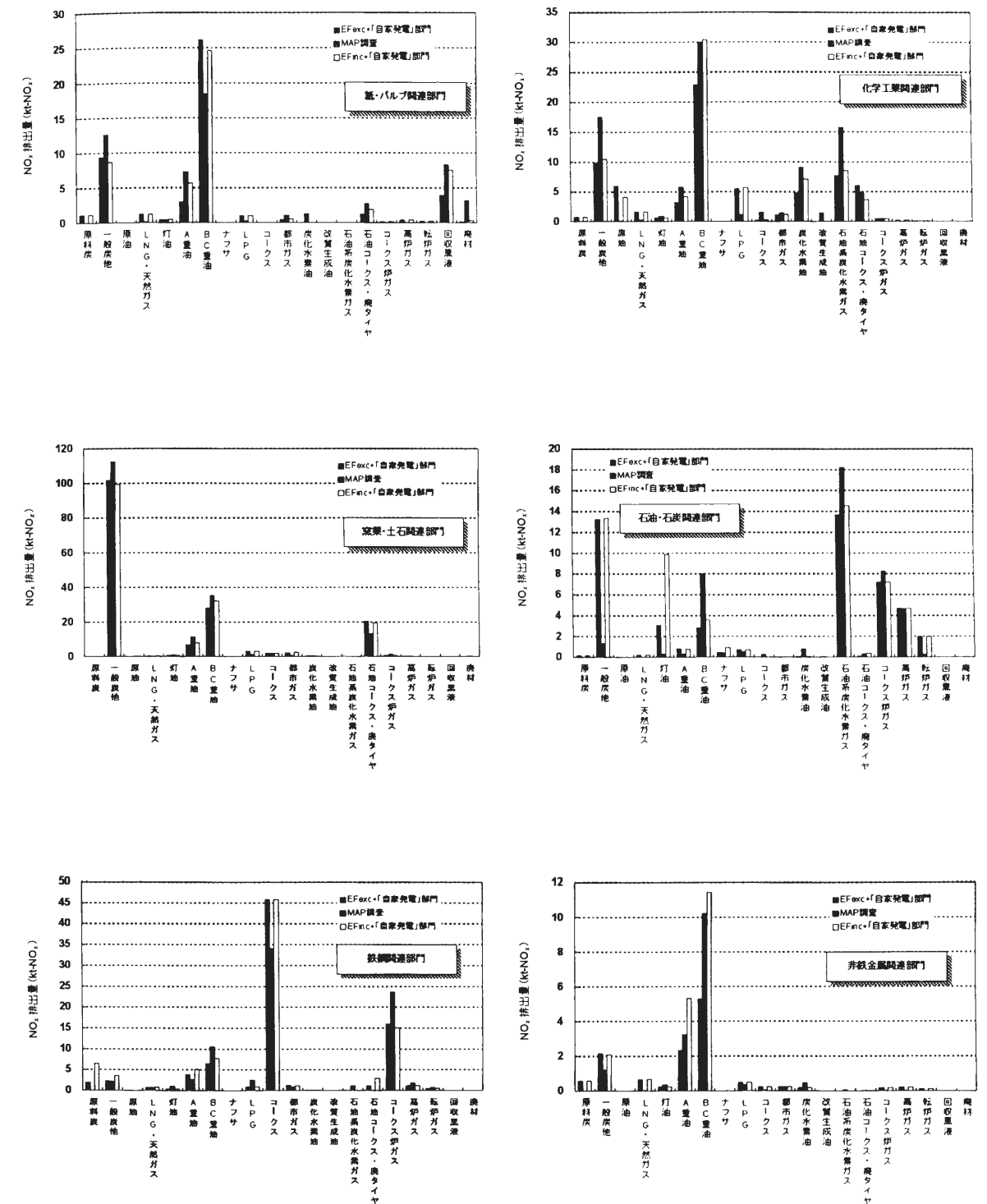


図2-5 固定発生源排出係数選択のための排出量比較方法

2.13.1 主要部門における排出量比較

排出係数を選択するため、①紙・パルプ関連部門、②化学工業関連部門、③窯業土石関連部門、④石油石炭関連部門、⑤鉄鋼関連部門、⑥非鉄金属関連部門について、それぞれ燃料種別 NO_x 排出量を比較した。比較結果を図2-6に示す。

図2-6 選択する排出係数による NO_x 排出量の違い

紙・パルプ関連部門は MAP 調査による排出量と比較し、発電炉を含まない排出係数(EF_{exc})を当てはめた場合は相対誤差-13%, 発電炉含む排出係数(EF_{inc})の場合は-3%であった。特に, A 重油および回収黒液については EF_{inc} による計算値が MAP 調査値と近似した。

化学工業関連部門は最も排出量の多い BC 重油で EF_{inc} がよく一致し、一般炭, 石油系炭化水素ガスについては, EF_{exc}, EF_{inc} のいずれの場合も過小となった。これは排出係数よりもエネルギー消費量の推計値の違いが原因である。相対誤差では EF_{exc} では-22%, EF_{inc} では-12%となった。

窯業土石関連部門ではどちらの排出係数を用いても MAP 調査値に近似した排出量となり、相対誤差は EF_{exc} 充当時で-7%, EF_{inc} で-6%となった。

石油石炭関連部門はエネルギー消費量の推計とアクティビティーベースである産業連関表と業種分類である MAP 調査の部門分類の違いから、大きく異なる結果となった。高炉ガス, コークス炉ガスではよく一致しているものの、一般炭他, BC 重油, 石油系炭化水素ガスなどの違いが大きい。相対誤差では EF_{exc} の場合 13%, EF_{inc} では 34%であった。

鉄鋼関連部門については EF_{exc} 対応した場合に相対誤差は 0%, EF_{inc} では 11%と大きくなった。コークスとコークス炉ガスについて違いがあるが、合計ではおおそ一致している。

非鉄金属関連部門では BC 重油に排出係数の選択による排出量の違いがあった。相対誤差は EF_{exc} で-20%, EF_{inc} の場合は 35%であった。本研究におけるエネルギー消費量の推計では EF_{exc} を用いると、対応する排出係数がないエネルギー消費量があった。また、紙パルプ部門の回収黒液など発電用途である燃料種が、各部門に直接計上されていることから、本研究では発電炉を含む排出係数である EF_{inc} を選択し対応させて固定発生源からの排出量の算出を行った。

2.14 移動発生源からの NO_x, SO_x, PM 排出量の推計

報告書³⁶⁾にある排出係数は主として固定発生源を対象とした係数であるため、移動発生源に該当する自動車, 船舶などからの排出量は別途計算する必要がある。移動発生源として自動車, 船舶, 鉄道, 航空, 農業機械, 建設機械を考慮した。

2.14.1 自動車からの排出量

移動発生源の中でも特に自動車からの排出量は多く、定量的な把握は極めて重要である。しかし、CO₂ や SO_x と異なり NO_x や PM の排出量の推計は容易ではない。例えば、ディーゼル車では主に加速時に PM 排出量が多く、道路の混雑状況, すなわち走行条件によって PM の排出量は異なるからである。ゆえに、NO_x や PM の排出量を精度高く推計するためには、速度域別に排出係数を設定する必要があり、またそれに対応した走行割合を求めることが重要である。

本研究ではまず、先行研究⁴¹⁾と同様に道路交通センサス(1997年調査分)⁴²⁾にある道路種別・平日休日別・車種別 12 時間平均交通量および昼夜率から、24 時間あたりの平均交通量を算出し、その結果に道路種別・沿道状況別ピーク時車種構成比を乗じて、道路種別・平日休日別車種構成台数を算

出した。さらに、道路種別・沿道状況別・舗装未舗装別・混雑時旅行速度別延長を乗じることで、道路種別・速度域別・平日休日別に車種別走行台キロを求めた。年間休日数は、日曜祝日に年末年始・夏期休暇等を考慮に入れて 77 日とし、年間の道路種別・速度域別・車種別走行台キロを決定した。

次に、一般道路および高速道路の速度域を、3km/h 以上 5km/h 未満(3～5km/h), 5～10 km/h, 10～15km/h, 15～25km/h, 25～40km/h, 40～60km/h, 60～80km/h に区分した。また、道路交通センサスのデータは、貨物車と貨客車が区別されているが、本研究では貨客車の走行量データを貨物車に組み込んで、軽乗用車, 乗用車, バス, 軽貨物車, 小型貨物車(貨客車), 普通貨物車, 特殊車の 7 車種に統合した。

道路交通センサスのデータは全国主要幹線道路のデータのみで、細街路等のデータは含まれていないため、排出総量算出の際に用いる走行量は道路交通センサスと対象年が同じ自動車輸送統計(平成 9 年度)⁴³⁾の値を用いた。この際、道路交通センサスと自動車輸送統計の走行量の差はすべて細街路の走行量であり、細街路での走行は 15～25km/h であると仮定して、道路種別・速度域別・車種別走行台キロの 15～25km/h に組み込んだ。さらに、道路種別・速度域別・車種別走行台キロの高速道路と一般道路を統合し、車種ごとの総走行量に対する各速度域での走行量を算出し車種別・速度域別走行割合とした。したがって、これは 1997 年ベースの速度割合設定値である。表 2-18 に車種別・速度域別走行割合の算出結果を示す。

車種別・速度域別走行割合から排出量の推定は次のように行った。産業連関表と同じ年次の自動車輸送統計(平成 7 年度)³⁷⁾における各車種別の燃費からその平均値を求め、代表燃費を設定した。また、燃費と各車種別のガソリン, 軽油, LPG の燃料消費量から車種別・燃料種別の走行距離を算出し、燃料種別の走行割合を定めた。得られた燃料種別走行割合から、輸送統計³⁷⁾に記載されている総走行距離をガソリン・軽油・LPG の 3 種に按分し、燃費と燃料消費量から計算される走行距離と公表統計の車種別走行距離との整合性を保った。自動車に関する NO_x および PM 排出量推計のフローを図 2-7 に示す。

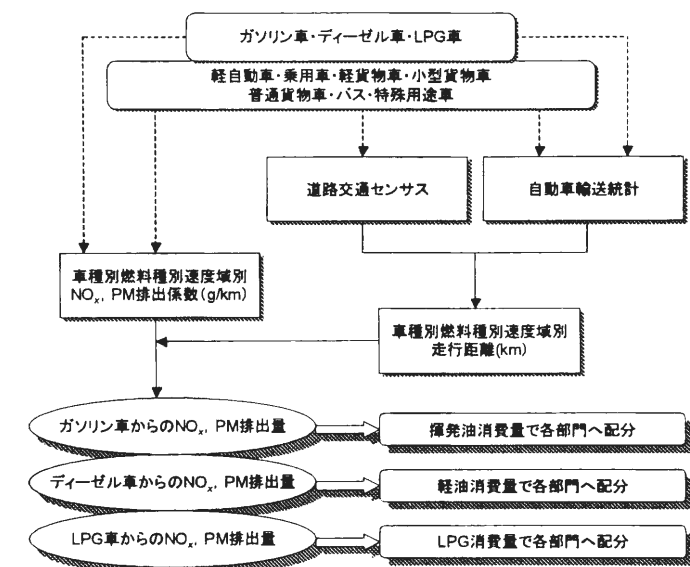


図 2-7 自動車起源の NO_x および PM 排出量の推計フロー

次に、求めた燃料種別車種別の走行距離を車種別・速度域別走行割合によって分配し、表 2-19～2-21 に示す燃料種別・車種別・速度域別の走行距離を算出した。

表 2-18 車種別・速度域別走行割合

車種区分	速度域別走行割合(%)						
	速度域(km/h)						
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80
軽乗用車	0.0	0.3	1.5	11.5	40.2	41.8	4.7
乗用車	0.1	0.3	1.0	30.0	28.1	29.5	11.0
軽貨物車	0.0	0.2	0.9	43.9	25.5	26.5	2.9
小型貨物車(貨客車)	0.1	0.3	1.0	33.0	24.9	26.2	14.5
普通貨物車	0.1	0.2	0.7	48.4	16.8	17.8	16.0
バス	0.1	0.3	1.2	14.3	30.8	32.6	20.7
特殊車	0.1	0.2	0.8	39.6	19.9	21.1	18.1

表 2-19 ディーゼル車に関する車種別速度域別走行距離

ディーゼル車 車種区分	速度域別走行距離(10 ⁶ km)							合計
	速度域(km/h)							
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80	
軽乗用車	0	0	0	0	0	0	0	0
乗用車	49	193	773	22,315	20,897	21,927	8,209	74,363
軽貨物車	0	0	0	0	0	0	0	0
小型貨物車(貨客車)	53	163	620	20,452	15,467	16,267	9,005	62,027
普通貨物車	69	162	552	37,826	13,106	13,903	12,518	78,135
バス	7	22	80	966	2,086	2,204	1,403	6,768
特種用途車	16	39	133	6,431	3,235	3,431	2,939	16,224

表 2-20 ガソリン車に関する車種別速度域別走行距離

ガソリン車 車種区分	速度域別走行距離(10 ⁶ km)							合計
	速度域 (km/h)							
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80	
軽乗用車	19	129	578	4,523	15,820	16,472	1,846	39,386
乗用車	208	810	3,246	93,735	87,778	92,102	34,481	312,359
軽貨物車	26	177	800	37,114	21,547	22,420	2,451	84,534
小型貨物車(貨客車)	22	68	259	8,539	6,458	6,792	3,760	25,897
普通貨物車	0	1	2	151	52	55	50	311
バス	0	0	0	0	0	0	0	0
特種用途車	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2-21 LPG 車に関する車種別速度域別走行距離

LPG車 車種区分	速度域別走行距離(10 ⁶ km)							合計
	速度域(km/h)							
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80	
軽乗用車	0	0	0	0	0	0	0	0
乗用車	13	53	211	6,085	5,699	5,979	2,239	20,279
軽貨物車	0	0	0	0	0	0	0	0
小型貨物車(貨客車)	0	0	0	0	0	0	0	0
普通貨物車	0	0	0	0	0	0	0	0
バス	0	0	0	0	0	0	0	0
特種用途車	0	0	0	0	0	0	0	0

さらに車種別・速度域別排出係数を乗じて排出量を求めた。本研究で用いた NO_xに関する車種別速度域別排出係数^{41),45)}を表 2-22～2-24 に、PM に関する排出係数⁴¹⁾を表 2-25～2-26 に示す。ただし、PM についてはガソリン車および LPG 車は、ディーゼル車に比べて、その寄与は極めて小さく、また速度域別に走行割合や排出係数を設定することはデータ収集が困難であったため、速度域によらず一定値⁴⁶⁾を設定し算出した。

SO_xについては各燃料種の硫黄含有量から SO₂へ換算して排出係数を設定し、エネルギー消費量から排出量を求めた。硫黄含有量の実勢値を考慮した燃料種別の SO_x排出係数⁴⁷⁻⁴⁸⁾を表 2-27 に示す。推計した自動車起源の燃料種別 NO_x、PM 排出量は、外生部門である「家計消費支出」における自動車に関する各燃料種の消費量を含め、各部門の代表的な使用車種を設定し、該当車種からの排出量をエネルギー消費量で按分した。

表 2-22 ディーゼル車に関する速度域別 NO_x 排出係数

ディーゼル車 車種区分	速度域別NO _x 排出係数(g/km)						
	速度域(km/h)						
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80
軽乗用車	-	-	-	-	-	-	-
乗用車	0.86	0.86	0.52	0.35	0.26	0.25	0.28
軽貨物車	-	-	-	-	-	-	-
小型貨物車(貨客車)	3.79	3.79	3.79	2.85	1.96	1.39	1.55
普通貨物車	7.90	7.90	7.90	5.98	4.16	3.01	3.30
バス	11.67	11.67	11.67	8.87	6.22	4.55	5.02
特種用途車	8.33	8.33	8.33	6.36	4.50	3.30	3.59

表 2-23 ガソリン車に関する速度域別 NO_x 排出係数

ガソリン車 車種区分	速度域別NO _x 排出係数(g/km)						
	速度域(km/h)						
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80
軽乗用車	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.22	0.26
乗用車	0.36	0.36	0.24	0.18	0.14	0.14	0.17
軽貨物車	0.89	0.89	0.89	0.83	0.82	0.90	1.18
小型貨物車(貨客車)	1.21	1.21	1.21	1.02	0.94	1.09	1.71
普通貨物車	2.95	2.95	2.95	2.58	2.42	2.72	3.94
バス	4.52	4.52	4.52	4.06	3.94	4.49	6.38
特種用途車	0.62	0.62	0.62	0.54	0.52	0.64	1.02

表 2-24 LPG 車に関する速度域別 NO_x 排出係数

LPG車 車種区分	速度域別NO _x 排出係数(g/km)						
	速度域(km/h)						
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80
軽乗用車	-	-	-	-	-	-	-
乗用車	0.43	0.43	0.43	0.44	0.49	0.63	0.90
軽貨物車	-	-	-	-	-	-	-
小型貨物車(貨客車)	-	-	-	-	-	-	-
普通貨物車	-	-	-	-	-	-	-
バス	-	-	-	-	-	-	-
特種用途車	-	-	-	-	-	-	-

表 2-25 ディーゼル車に関する速度域別 PM 排出係数

ディーゼル車 車種区分	速度域別PM排出係数(g/km)						
	速度域(km/h)						
	3～5	5～10	10～15	15～25	25～40	40～60	60～80
軽乗用車	-	-	-	-	-	-	-
乗用車	0.049	0.03	0.021	0.016	0.015	0.016	0.021
軽貨物車	-	-	-	-	-	-	-
小型貨物車(貨客車)	0.167	0.125	0.102	0.085	0.073	0.071	0.087
普通貨物車	1.125	0.777	0.615	0.521	0.463	0.443	0.457
バス	1.281	0.894	0.71	0.6	0.525	0.494	0.509
特種用途車	0.787	0.543	0.428	0.361	0.319	0.307	0.326

表 2-26 ガソリン車・LPG 車に関する PM 排出係数

車種区分	ガソリン車	LPG車
	g/km	g/km
軽乗用車	0.025	-
乗用車	0.01	0.01
軽貨物車	0.025	-
小型貨物車(貨客車)	0.063	-
普通貨物車	0.077	-
バス	0.085	-
特殊車	0.077	-

表 2-27 移動発生源に関する燃料種別 SO_x 排出係数

燃料種	硫黄含有量	SO _x 排出係数
	wt%	kg/10 ⁷ kcal
揮発油	0.04	0.71
軽油	0.13	2.23
A重油	0.78	13.92
BC重油	2.89	56.62
LPG	0	0

2.14.2 タイヤ磨耗による PM 排出量

自動車からの PM 発生源として、タイヤの磨耗による排出がある。本研究では表 2-28 の単位走行距離あたりの車種別 PM 排出係数⁴⁶⁾と走行距離⁴⁴⁾から排出量を求めた。表 2-19～2-21 に示した各車種の走行距離を用いて総排出量を計算し、燃料起源の排出量と同様に各部門の移動発生源に該当するエネルギー消費量の大きさに配分した。

表 2-28 タイヤ磨耗による車種別 PM 排出係数

車種区分	タイヤ磨耗によるPM排出係数 g/km
軽乗用車	0.054
乗用車	0.087
軽貨物車	0.054
小型貨物車(貨客車)	0.096
普通貨物車	0.670
バス	0.420
特殊車	0.670

2.14.3 船舶・鉄道・航空機からの排出量

船舶からの NO_x や PM 排出量は大きく、その排出係数は船舶規模により異なるため、本研究では表 2-29 に示す 4 種の船舶を対象にした燃料種別排出係数⁴⁹⁾を用いた。しかし、PM については軽油と重油に関する排出係数⁵⁰⁾しか得られなかったため、全ての船舶で同じ値を用いた。また、鉄道および航空機に関しては表 2-30 の値⁵⁰⁾を用いて算出した。SO_x の排出量は表 2-27 の硫黄含有量による燃料種別排出係数を用いた。

表 2-29 船舶に関する NO_x, PM 排出係数

船舶種	軽油		A重油		B・C重油	
	NO _x	PM	NO _x	PM	NO _x	PM
	kg/10 ⁷ kcal					
漁船(沖合, 遠洋)	33.0	1.95	44.5	3.39	46.0	3.39
漁船(沿岸)	37.4	1.95	38.0	3.39	39.9	3.39
外航海運	75.7	1.95	77.1	3.39	80.9	3.39
内航海運	58.8	1.95	59.8	3.39	62.7	3.39

表 2-30 鉄道, 航空機に関する NO_x, PM 排出係数

発生源	一般炭		軽油		ジェット燃料油	
	NO _x	PM	NO _x	PM	NO _x	PM
	kg/10 ⁷ kcal					
鉄道	-	0.71	7.31	3.25	-	-
航空機	-	-	-	-	11.1	0.68

2.14.4 農業機械・建設機械からの排出量

農業機械や建設機械などの未規制車は自動車より NO_x や PM に関する排出係数が高い。NO_x 排出係数は文献値⁵¹⁾を引用したが、PM に関する排出係数は得られなかった。本研究では、農業機械および建設機械に関する排出係数としてディーゼル機関に関する集じん前の排出係数を代用した。表 2-31 に各排出係数を示す。また、SO_x については表 2-27 の燃料種の排出係数から算出した。

表 2-31 農業機械, 建設機械に関する NO_x, PM 排出係数

発生源	軽油	
	NO _x	PM
	kg/10 ⁷ kcal	
農業機械	41.32	7.4
建設機械	43.40	7.4

2.15 ホームページによる原単位の試験的公開

産業連関表の部門別に推計したエネルギー消費量, CO₂ 排出量, NO_x 排出量, SO_x 排出量および

PM 排出量から産業連関分析法により算出した各種原単位の $(I-A)^{-1}$ 型を付録 1 に、 $\{I-(I-M)A\}^{-1}$ 型を付録 2 にそれぞれ掲載する。

2.15.1 公開用ホームページの作成

廃棄物を燃料種として含めずに計算したエネルギー消費量および CO₂ 排出に関する原単位を β 版としてホームページ上で試験的に公開した。これまで、各機関から原単位の公開はフロッピーディスク⁵²⁾や書面⁵³⁾のみによるものが主流であったが、インターネット利用者の増加と利便性を考え、本研究ではホームページによる公開を試みた。公開したデータは同じ推計方法に基づく 1995 年と 1990 年の原単位で、利用者の幅広い使用目的に応えるため、約 400, 190, 90, 32 部門分類に基づく値をそれぞれ作成した。パブリックデータベースとしての透明性を重視し最終的な原単位に加え、①部門別原燃料消費量、②燃焼用途率、③部門-燃料種別エネルギー消費量、④部門-燃料種別 CO₂ 排出量、⑤CO₂ 排出原単位の内訳も示した。また、本章のような推計手法とデータの読み方を記した解説書 (PDF ファイル形式) を付した⁵⁴⁾。図 2-8 に公開したホームページの一部を掲載する。

2.15.2 原単位利用者へのアンケート調査

原単位データの公開後、その利用目的や状況を把握し今後の改善点を検討するため、利用者に対してホームページ上で図 2-9 のようにアンケート調査を行った。これまで 24 名からの回答があった。以下に質問事項と主な回答を紹介する。ただし、実際の記述を文意が変わらないことに配慮し一部省略、変更している。

＜利用者と目的に関する質問＞

①利用者の職業種

教育・研究機関(環境・土木系)6 名, 電気機械 4 名, 教育・研究機関(経済・経営系)3 名

②利用者の所在地

大阪 7 名, 東京 3 名, 神奈川 3 名, 茨城 3 名

③主な利用目的

LCA 13 名, エネルギー・環境システム分析 12 名

④利用した原単位

エネルギー消費と CO₂ 排出原単位両方 17 名, エネルギー消費量のみ 7 名

⑤利用した原単位の年

1995 年値のみ 15 名, 1995 年と 1990 年両方 9 名

⑥利用方法と内容

- ・一般均衡モデルの構築において各部門におけるエネルギー消費量・炭素排出量の初期データ
- ・都市開発やまちづくりにおけるエネルギー使用と CO₂ 排出量の試算と分析
- ・東南アジア諸国と日本との環境負荷収支 (CO₂) 分析
- ・廃棄物産業連関分析による LCA の補助データ

- ・従来機器と省エネ機器の LCCO₂ および製造時～使用時～廃棄時のエネルギー分析
- ・ISO14001 の環境影響評価をする際に、組織の活動を CO₂ 排出量に換算、評価に利用
- ・CO₂ の国内排出枠取引に関するシミュレーションのパラメーター作成
- ・IT 関連の部品供給プロセスや物流などの積上げできない部分のデータを引用
- ・電気, 電子機器の LCA データ
- ・拡大産業連関分析による温室効果ガスの排出抑制のための排出税率の導出及びその影響分析
-

＜原単位データの説明資料(解説書)に関する質問＞

①文書の必要性に関して尋ねた結果を表 2-32 に示す。

ただし、解説書の各章には以下の内容を掲載。

☆第 1 章(産業連関表と環境負荷分析との関わりについての説明)

☆第 2 章(原単位の算出の流れと原燃料種別に消費量の推計方法を解説)

☆第 3 章(データファイルの構成をファイルごとに読み方などを説明)

☆第 4 章(原単位の応用として排出構造分析結果を紹介)

☆データ集(原単位を一覧表にまとめて掲載)

表 2-32 解説書各章の必要性に関する回答

	必要	不必要	読んだが 判断できない	読んでいない
	回答者数			
第1章	16	0	2	6
第2章	16	0	0	8
第3章	16	1	0	7
第4章	13	0	2	9
データ集	14	2	2	6

②解説書の期待する提供形式

電子媒体 (PDF ファイル) 22 名, 出版物 (紙) と両方 1 名

＜原単位データファイルに関する質問＞

①各データの使用状況に関する質問の回答を表 2-33 に示す。

ただし、データ名とその内容は以下の通りである。

☆データ A (原燃料の物量投入量表)

☆データ B (原燃料の燃焼用途割合表)

☆データ C (燃料種からの発熱量表)

☆データ D (原燃料種からの直接 CO₂ 排出量表)

☆データ E (エネルギー消費原単位－生産者価格ベースをまとめた表)

- ☆データ F(CO₂ 原単位－生産者価格ベースをまとめた表)
- ☆データ GH(CO₂ 原単位の内訳表－どの部門から誘発されたかわかる表)
- ☆データ I(電力消費量などがわかる参考値表)

表 2-33 各データの使用状況に関する回答

	使用した 回答者数	使用せず
データA	5	19
データB	3	21
データC	5	19
データD	13	11
データE	7	17
データF	13	11
データGH	3	21
データI	5	19

②実際に利用した分類表

400 部門 14 名, 32 部門 3 名, 190 部門 2 名

③データファイルの期待する提供方法

ホームページからのダウンロード 24 名(全員)

④追加すべき公開データ

購入者価格ベースの原単位 12 名, 原単位の内訳が燃料種別のわかるデータ 10 名, エネルギー消費
原単位の内訳表 6 名

⑤エネルギー消費量, CO₂ 排出量以外に整備すべき環境負荷データ

NO_x 18 名, SO_x17 名, SPM 5 名, メタン 8 名, 廃棄物 14 名, その他(BOD, COD, SS, TN, TP etc)3
名

<その他の質問>

①他のエネルギー・環境負荷データベースやソフトウェアとの併用状況を探ねた結果を, 表 2-34 に示
す。

表 2-34 他データとの併用状況に関する回答

併用データ	回答者数
他データベースは併用していない	10
電力中央研究所の産業連関表データ	2
金属材料技術研究所の産業連関表データ	3
慶應義塾大学の産業連関表データ	1
建築学会の産業連関表データ	3
その他の国内データベースおよびソフトウェア	
・北海道大学(松藤氏ら)	2
・(株) 東芝のソフト	1
・総合エネルギー統計	1
その他の海外データベースおよびソフトウェア	
・MATLAB	2

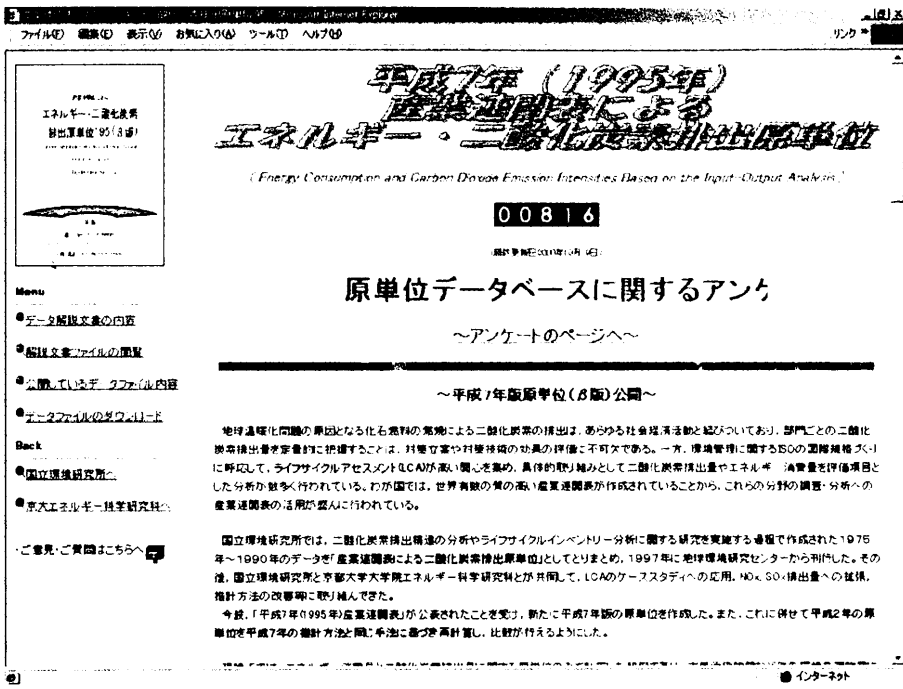


図 2-8 原単位データベースの公開ホームページの例

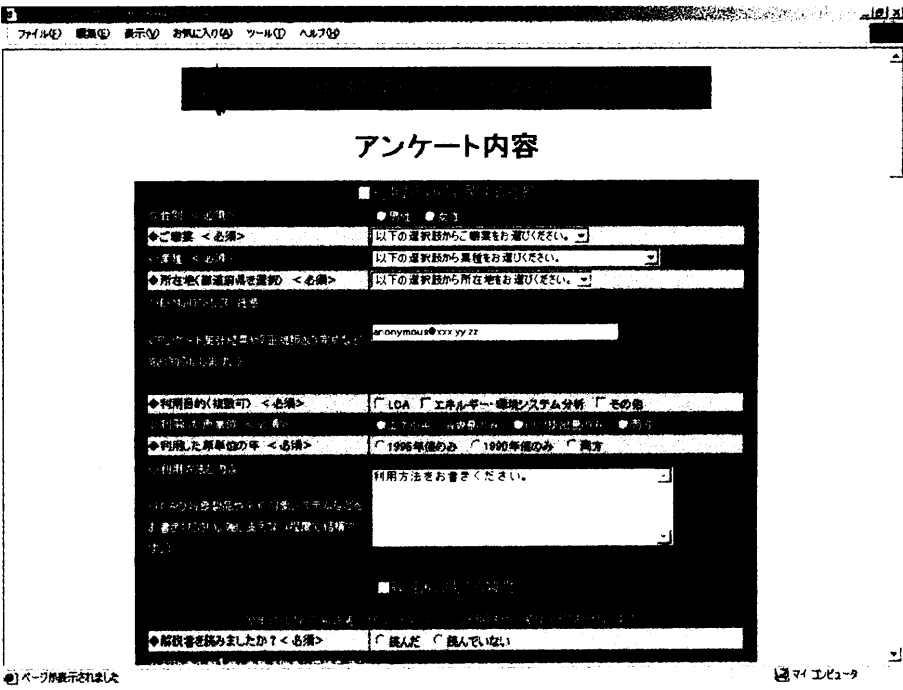


図 2-9 アンケート調査のホームページの例

2.16 まとめ

本章において得られて結果を以下にまとめる。

- 1995 年産業連関表を用いて、家計消費部門を含めた、わが国の 400 部門の経済活動に伴う原燃料種消費量の推計を行った。石炭系燃料を 6 種、石油系燃料を 12 種、天然ガス系燃料を 3 種、その他 5 種の燃料種を対象とした。
- 推計した原燃料消費量に対し、エネルギー転換用、原料用およびカスケード利用分を控除し、原燃料種の発熱量から部門別燃料種別エネルギー消費量を計算した。
- 燃料種別に CO₂ 排出係数を与え、排出源として石灰石を考慮し CO₂ 排出量を算出した。バイオマス起源の排出量は加算せず、コークス、高炉ガス、転炉ガスのカスケード利用される燃料に関する排出量はエネルギー消費量の大きさに配分した。
- わが国の脱硝技術の実態を反映した、固定発生源に関する部門別燃料種別 NO_x 排出係数を用いて NO_x 排出量を求めた。非化石燃料起源の排出として、電気炉による電力消費に伴う排出を加味した。移動発生源として自動車、船舶、鉄道、航空、農業機械、建設機械を対象とし排出量を推計した。自動車については 7 車種分類ごとに走行速度、走行距離から計算し、実態の反映に努めた。
- NO_xと同様に脱硫技術を反映した部門別燃料種別 SO_x排出係数から固定発生源からの SO_x排出量を求めた。原料鉱石として銅鉱、亜鉛鉱、鉛鉱からの排出量を加味した。移動発生源については燃料の硫黄含有量から排出量を計算した。
- わが国の集じん技術を考慮したばいじん排出係数から固定発生源からの一次粒子としての PM 排出量を求めた。自動車からの排出量は NO_xと同じく車種別に走行の実状を反映して推計し、加えて、タイヤの磨耗による PM の発生量を考慮した。
- 各部門におけるエネルギー消費量、CO₂排出量、NO_x排出量、SO_x排出量および PM 排出量から産業連関分析法を応用し、各部門における単位生産額(百万円-生産者価格)あたりの直接および間接に引き起こされるエネルギー消費量、環境負荷量を示す原単位を計算した。また、各種原単位をデータベースとしてホームページ上で公開し、利用者に対しアンケート調査を行った。

参考文献

- 1) Yuh-Ming, L. (2000), A Streamlined LCA of Corrugated Paperboard and Comparison of LCA Models, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.465-468, Tsukuba.
- 2) Raggi, A., Petti, L., Pagliuca, G. (2000), Application of LCA Methodology to Pasta Products: a Case-Study, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.443-446, Tsukuba.
- 3) (社) 未踏科学技術協会・エコマテリアル研究科編(1995), LCA のすべて, p134, 工業調査会.
- 4) Kobayashi, M., Inaba, A., Matsuno, Y. (2000), The Development of “NIRE-LCA Ver.3”, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.703-706, Tsukuba.
- 5) Suzuki, H. (2000), Development of LCA Software “Easy-LCA”, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.711-714, Tsukuba.
- 6) 総務庁(1999), 平成 7 年産業連関表, 全国統計協会調査会.
- 7) 森口祐一(2000), インベントリ分析のための環境負荷原単位, 水環境学会誌, 23-2, 68-72.
- 8) Leontief, W.W.(1970), Environmental Repercussion and Economic Structure ; An Input-Output Approach, *The Review of Economics and Statistics*, **52**, 262-271.
- 9) Kaya, Y.(2000), From Energy Analysis to Life Cycle Assessment, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp5-6, Tsukuba.
- 10) エネルギー・資源学会編(1996), エネルギー・資源ハンドブック, オーム社, pp58-59.
- 11) Hendrickson, C.T., Horvath, A., Joshi, S., Lave, L.B.(1998), Economic Input-Output Models for Environmental Life-Cycle Assessment, *Environmental Science & Technology*, **32**, 184-191.
- 12) Pedersen, O.G.(1999), Physical Input-Output Tables for Denmark, Danmarks Statistik.
- 13) 森口祐一, 松井重和, 斎藤 聡(2000), 環境・資源問題分配のための 3 次元物量産業連関表の試作, 環太平洋産業連関分析学会第 11 回(2000 年度)大会報告論文文抄集, pp.123-127, 仙台.
- 14) 宮沢健一編(1995), 産業連関分析入門 新版, 日本経済新聞社.
- 15) 奥島啓介, 手塚哲央, 佐和隆光(2000), 炭素税による太陽電池導入とその二酸化炭素削減効果, 第 19 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp.255-260.
- 16) 笠原三紀夫(1992), 粒子状物質による大気汚染問題, 大気汚染学会誌, **27**, A53-A64.
- 17) 指宿堯嗣(2000), 浮遊粒子状物質による環境問題と今後の研究開発, 資源と環境, 工業技術院資源環境技術総合研究所, **9**, 1-11.
- 18) 森口祐一, 近藤美則(1998), 資源輸入に伴う環境負荷の定量化と負荷の配分方法が LCI に与える影響の分析, 日本エネルギー学会誌, **77**, 1062-1069.
- 19) 通産省大臣官房調査統計部編(1996), 平成 7 年エネルギー生産・需給統計年報, 通商産業調査会.
- 20) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課(1997), 平成 8 年度総合エネルギー統計, 通商産業研究会.
- 21) 大蔵省(1996), 平成 7 年日本貿易月表, 日本関税協会.

- 22) 通産省大臣官房調査統計部編(1996), 平成7年鉄鋼統計年報, 通商産業調査会.
- 23) 通産省大臣官房調査統計部編(1996), 平成7年石油等消費構造統計表, 通商産業調査会.
- 24) 資源エネルギー庁公益事業部編(1995), 平成6年電力需給の概要, 中和印刷.
- 25) 資源エネルギー庁公益事業部編(1996), 平成7年電力需給の概要, 中和印刷.
- 26) 運輸省運輸政策局編(1996), 平成7年航空輸送統計年報.
- 27) (社)プラスチック処理促進協会(1995), プラスチックなど包装材料の環境影響評価(LCA).
- 28) 通産省大臣官房調査統計部編(1996), 平成7年紙パルプ統計年報, 通商産業調査会.
- 29) (社)日本自動車タイヤ協会(1996), タイヤリサイクルハンドブック.
- 30) 日本電子計算株式会社(1996), 平成7年度環境庁委託業務結果報告書-大気汚染物質排出量総合調査.
- 31) 環境庁(2000), 温室効果ガス排出・吸収目録(インベントリ)(2000年条約事務局提出分).
- 32) 資源エネルギー庁長官官房鉱業課監修(1999), 平成11年版鉱業便覧, 通商産業調査会.
- 33) 通産省大臣官房調査統計部編(1996), 窯業建材年報, 通商産業調査会.
- 34) 通産省基礎産業局化学肥料室(1996), 平成7暦年石灰用途別需要動向.
- 35) (社)日本鉄鋼協会基礎研究会(1993), 炭酸ガス抑制と製鉄プロセスの未来, 社団法人 日本鉄鋼協会.
- 36) 株式会社 三菱総合研究所(2000), 平成11年度環境庁請負調査-平成11年度LCAデータベース作成調査報告書.
- 37) 通産省大臣官房調査統計部編(1996), 平成7年化学工業統計年報, 通商産業調査会.
- 38) 日本金属学会(2000), 鉄鋼製錬, 丸善株式会社.
- 39) 生物系廃棄物リサイクル研究会(1999), 生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題, 有機質資源化推進会議.
- 40) U.S. Environmental Protection Agency(1995), Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, 5th Edition.
- 41) 株式会社 野村総合研究所(1998), 自動車排出ガス原単位および総量に関する調査(環境庁委託).
- 42) 建設省道路局編集(1998), 平成9年度 道路交通センサス(全国道路交通情勢調査)一般交通量調査.
- 43) 運輸省 運輸政策局情報管理部(1999), 平成9年度自動車輸送統計年報.
- 44) 運輸省 運輸政策局情報管理部(1997), 平成7年度自動車輸送統計年報.
- 45) 株式会社 数理計画(1991), 平成2年度京都市委託-窒素酸化物高濃度出現解析調査報告書.
- 46) 環境庁大気保全局大気規制課監修(1997), 浮遊粒子状汚染予測マニュアル, 東洋館出版社.
- 47) 石油連盟ヒアリング調査(2000).
- 48) 商船三井株式会社環境報告書 2000(2000).
- 49) Tonooka, Y., Moriguchi, Y., Hondo, H., Halada, K., Ikaga, T., Kannari, A., Shiba, H., Hagiwara, K. (2000), Emission Factor Analysis of Air Pollutants for Input/Output Table, Proc. 4th Int. Conf.

- on EcoBalance, pp177-180, Tsukuba.
- 50) Cass G. R., Boone P. M., Macias E. S. (1982), "Emissions and Air Quality Relationships for Atmospheric Carbon Particles in Los Angeles. in Particulate Carbon: Atmospheric Life Cycle." (ed. by Wolff, G.T., Klimisch, R.L.), Plenum Press, pp207-240.
- 51) 環境庁(1995), 未規制自動車からの排出実態調査報告書.
- 52) 近藤美則, 森口祐一(1997), 産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 国立環境研究所地球環境研究センター, CGER-D016-'97.
- 53) 本藤祐樹, 外岡 豊, 内山洋司(1998), 産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析, 電力中央研究所報告 Y97017.
- 54) 森口祐一, 南齋規介(2000), 産業連関表によるエネルギー・二酸化炭素排出原単位'95(β版).

第3章

わが国における 大気環境負荷の構造分析

3.1 本章の目的と研究方法

利潤の追求は企業経営の柱であり、質の豊かさは我々の望む生活の柱ともいえよう。活動の目的を環境負荷の低減のみに据えることは難しい。ゆえに、企業利益や生活の質といった他の条件との兼ね合いの中で、如何に限られた資源(人・時間・金銭 etc.)を環境問題の克服に向けて効率的、効果的に活用するかが鍵となる。これには、LCA から得られるような環境情報が役に立つと第 1 章でも述べた。これは、国の経営についても共通している。経済と環境に配慮した経営戦略、すなわち政策を考える上で国の活動に伴う環境負荷の構造と実態を示す情報は重要な存在といえる。

現在、わが国には当面の課題として 1997 年に行われた第 3 回地球温暖化防止条約締約国会議(COP3)で定めた温室効果ガスの削減目標の達成がある。2008 年から 2012 年の 5 年間の温室効果ガスの平均排出量を、1990 年比で 6%削減しなければならない。また、2000 年11月オランダのハーグで COP6 が行われたが、3.7%に当たる量を森林吸収でカウントする案を出したが受け入れられず、残された時間の中で目標を達成するには、経済的犠牲が小さく排出抑制効果の高い改善手法を模索する必要がある。それには、わが国における温室効果ガスの排出実態に関する情報が不可欠であり、作成も行われている¹⁾。現在抱えている大気汚染問題の解決に対しても、排出実態の把握が重要であることに異論はない。

一方、第 2 章で得られた原単位やその計算過程で得られた数値は、わが国における大気環境負荷の実状を知る上で、非常に適した性質を持っている。まず、汚染物質の主たる発生源である燃料種が特定できる。さらに、約 400 部門に区分された、わが国の経済活動について大気環境への寄与の大

きを判明することができる。また、産業、サービス業間の相互依存関係を考慮し、経済的需要という側面から環境負荷構造を示すことができる。これが産業連関分析法から導かれる環境負荷原単位の最大の特徴である。

本章では、わが国におけるエネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_xおよびPM排出量について、次の4つの視点からこれらの環境負荷の定量化を行うことを目的とする。①原燃料種別の負荷量、②経済活動部門別の直接的な負荷量、③各部門への需要が誘発した間接的な負荷量、④輸出や資本形成などに分類した経済需要別にみた誘発負荷量について明らかにする。需要側から環境負荷を捉える知見は公共投資に代表されるような、政策的判断により需要先を選択できる最終需要に関して、経済的側面だけでなく環境的配慮からの投資内容の検討を可能にする。

ここでいう、“誘発した環境負荷”とは、次のように考えた負荷を意味する。生産活動は産業やサービスが独立して行われるものではない。ある部門への消費者からの需要は当該部門の活動のみならず、他部門へも生産を引き起こす。これは環境負荷でも同様で、例えば乗用車生産の需要があれば、自動車会社だけでなく、発電所や製鉄会社からもCO₂やNO_xを排出する。こうして遡って発生したものを誘発した環境負荷として捉え、需要のあった自動車会社の排出と考えるのである。原単位を利用した誘発環境負荷量の分析手法を以下に説明する。

3.1.1 原単位を用いた最終需要分析の方法

最終需要により誘発される負荷量の算出には、式(2-13)から導かれる輸入に関する負荷量を除いた原単位 e_i を用いる。部門 i の最終需要額 F_i は、式(3-1)のように「家計外消費支出」、「民間消費支出」、「一般政府消費支出」、「国内総固定資本形成(固定)」、「国内総固定資本形成(民間)」、「在庫純増」の6種に分類した国内最終需要額 $Y_{k,i}$ と輸出需要額 E_i に分割できる。そして、式(3-2)より部門 i の生産需要により誘発された環境負荷量 T_i が導かれる²⁾。ただし、 m_i は部門 i に関する輸入係数である。

$$F_i = \sum_{k=1}^6 Y_{k,i} + E_i \quad (3-1)$$

$$T_i = \sum_{k=1}^6 (1 - m_i) e_i Y_{k,i} + e_i E_i \quad (3-2)$$

3.2 部門別燃料種別にみた環境負荷量

400部門分類別に推計したわが国の経済活動に関するエネルギー消費量および大気環境負荷量を家計消費部門を含め33部門に統合した。内生部門に該当する部門は産業連関表における大分類に沿って部門統合している。なお、推計対象年は1995年である。以下に、環境負荷項目別に分析結果をまとめる。

3.2.1 エネルギー消費の構造

エネルギー消費量に関する燃料種別の内訳を図3-1に、部門別の寄与を図3-2に示す。1995年におけるわが国の経済活動に関する総エネルギー消費量は4,138Ecal($4,138 \times 10^{15}$ cal)と推計された。燃料種別にみると、B・C重油が542Ecalと全体の13%、続いてLNG・天然ガスが11%、一般炭・亜炭・無煙炭、揮発油が共に10%の寄与であった。資源別にみると、石油系燃料が最も多く60%、石炭系燃料が20%、天然ガス系が16%と石油系燃料への依存が高いことが改めて確認できる。

図3-2から消費部門別にみると、実際にエネルギーを消費した部門は「電力・ガス・熱供給」部門による消費量が1,187Ecalと全体の29%を占め、「運輸」が727Ecal、18%と続く。「家計消費部門」は主にいわゆるマイカーによる揮発油、軽油によるエネルギー消費が原因となり、558Ecalと寄与が大きく13%に及ぶ。

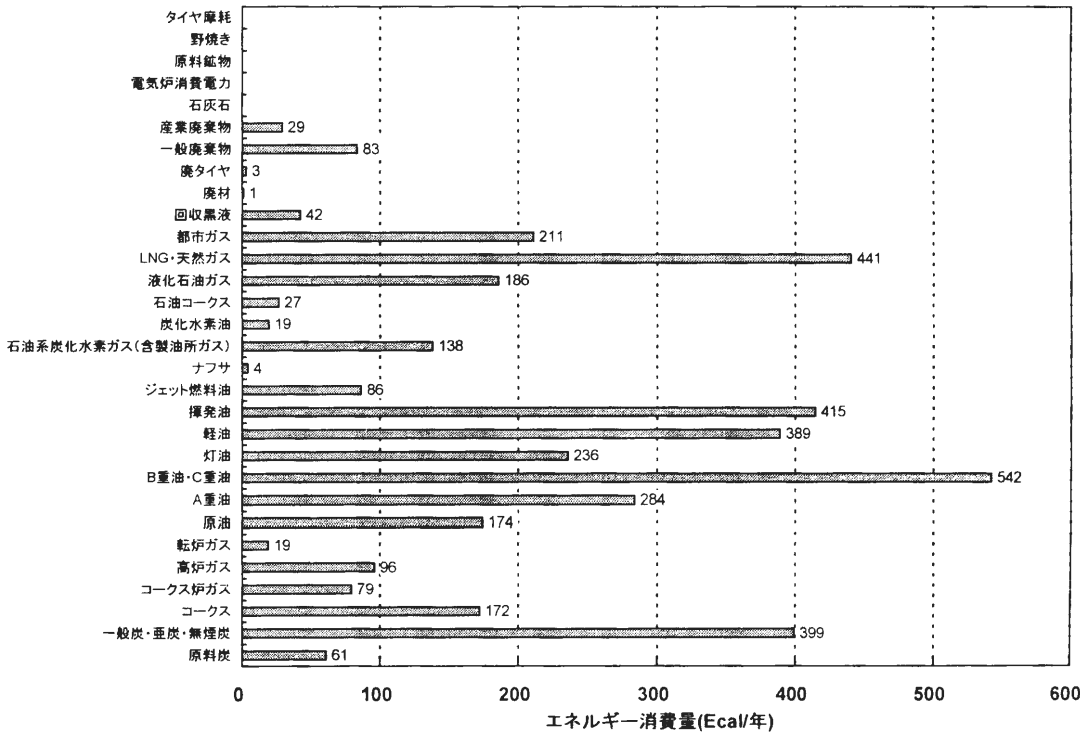


図3-1 燃料種別にみたエネルギー消費量(1995年)

最終需要側からエネルギー消費をみると、「建設」部門へ需要が595Ecalと14%の消費を促したことがわかる。直接的な消費量では54Ecalと寄与の小さかった「食料品」部門はその需要により190Ecalのエネルギー消費を誘発したといえる。また、飲食店や娯楽施設などが該当する「対個人サービス」部門は直接的には83Ecalと2%の寄与でとどまるが、最終的に引き起こす消費量は7%の289Ecalとなり、おおよそ3.5倍のエネルギーが潜在的に消費される。中でもファミリーレストランなどの外食産業が含まれる「一般飲食業」の占める割合は高く、ライフスタイルの変化に伴って、現在では更に増加し

ていると予想される。

最終需要部門別では、「民間消費支出」が2,123Ecalの51%と非常に大きい。「民間消費」に該当する部門のうち、「家計消費支出」部門による直接および間接に消費されるエネルギーは2,104Ecalと極めて大きい。

「輸出」部門は600Ecalにも上り全体の15%と「国内総固定資本形成(民間)」に匹敵している。特に、外洋船舶でのエネルギー消費がその内23%に当たる139Ecalと大きく、船舶は海上、航空は上空で消費されることから身近に感じ難いが、わが国の経済活動に伴う主要なエネルギー需要部門であるといえよう。

■農林水産業	■鉱業	□食品	□繊維製品
■パルプ・紙・木製品	■化学製品	■石油・石炭製品	□窯業・土石製品
■鉄鋼	■非鉄金属	□金属製品	■一般機械
■電気機械	■輸送機械	■精密機械	■その他の製造工業製品
■建設	□電力・ガス・熱供給	□水道・廃棄物処理	□商業
■金融・保険	□不動産	■運輸	□通信・放送
■公務	■教育・研究	■医療・保険・社会保障	□その他の公共サービス
■対事務所サービス	■対個人サービス	■事務用品	■分類不明
■家計消費支出	■家計外消費支出	■民間消費支出	■一般政府消費支出
■国内総固定資本形成(公的)	■国内総固定資本形成(民間)	■在庫純増	■輸出

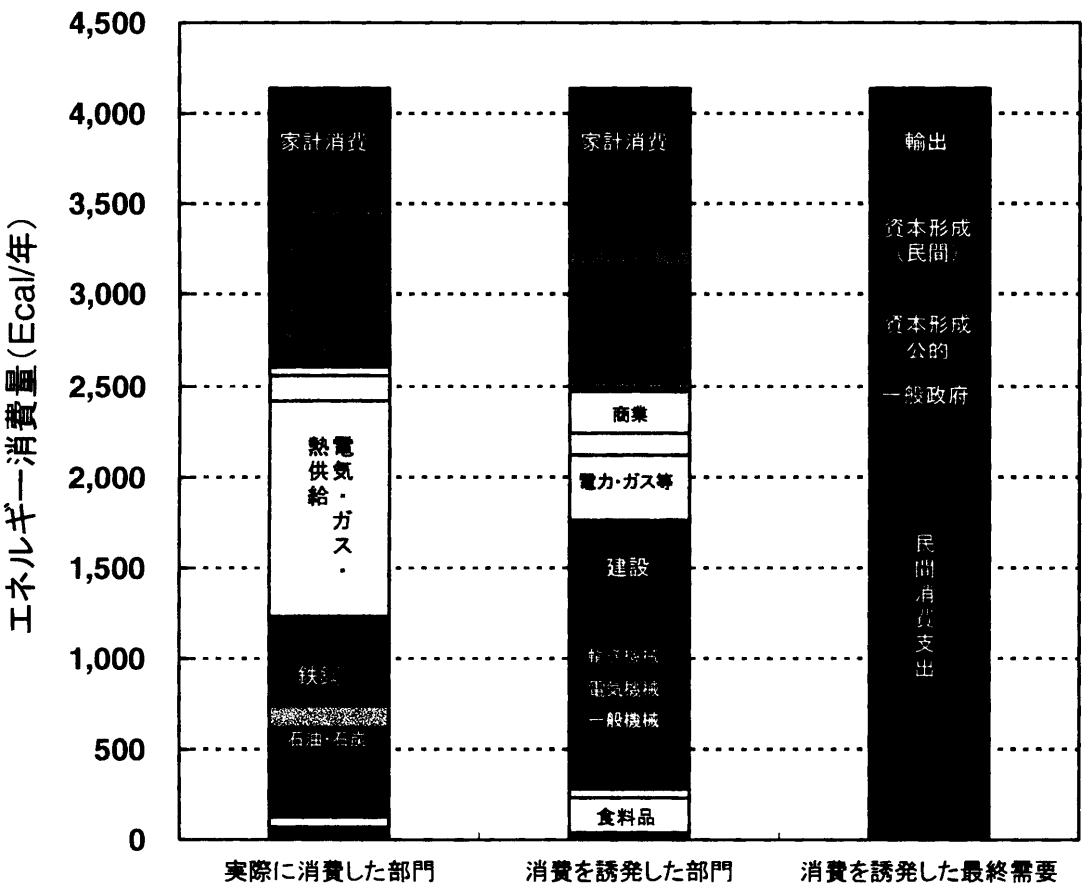


図3-2 部門別にみたエネルギー消費量(1995年)

3.2.2 CO₂の排出構造

わが国のCO₂排出に関する燃料種別寄与を図3-3に、部門別寄与を図3-4にそれぞれ示す。1995年の総CO₂排出量は3.4億t-Cと推計された。B・C重油から44Mt-Cと全体の13%、一般炭・亜炭・無煙炭から41Mt-C、12%、続いて揮発油、軽油、灯油となった。非化石燃料からの排出である石灰石は16Mt-Cと5%の寄与であった。資源別では、石炭系燃料が26%、石油系燃料が57%、天然ガス系燃料が11%と発熱量あたりの炭素分が大きい、石炭系燃料の寄与がエネルギー消費量の場合と比較し6%増加し、一方で天然ガスの寄与が5%減少している。

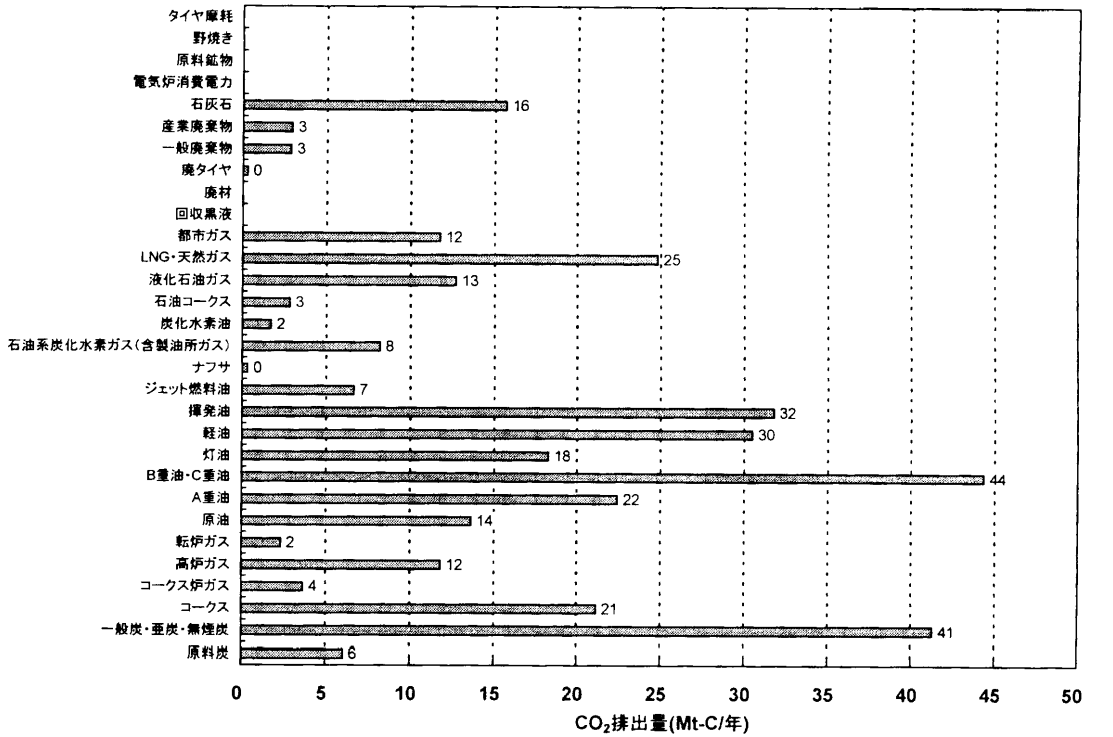


図3-3 燃料種別にみたCO₂排出量(1995年)

直接的にCO₂を排出した部門は図3-4から分かるよう、「電力・ガス・熱供給」部門が94Mt-Cと28%を占める。また、「運輸」部門は57Mt-C、「家計消費支出」による直接排出量は40Mt-Cとほぼエネルギー消費量と同じ傾向を示した。しかし、石灰石を消費するセメント業が該当する「窯業・土石製品」部門は3%のエネルギー消費寄与から7%のCO₂排出寄与となった。また、「鉄鋼」部門も石灰石消費に加え、石炭系燃料の使用が多いことから、結果として8%のエネルギー消費寄与から11%のCO₂排出であった。

排出を誘発した部門はエネルギー消費と同様、「建設」部門が大きい。「建設」部門はセメントや鉄鋼製品の使用が大きいことから、エネルギー消費の寄与より増加し18%を占めるという結果を得た。他の部門についてはエネルギーの誘発消費割合と大きな違いはみられない。

最終需要部門別では「国内総固定資本形成(固定)」,「国内総固定資本形成(民間)」がそれぞれ 33Mt-C, 56Mt-Cと合わせて 27%を占めた。特に,「国内総固定資本形成(固定)」部門が道路関係や河川の公共事業による「建設」部門への需要をもたらしている。

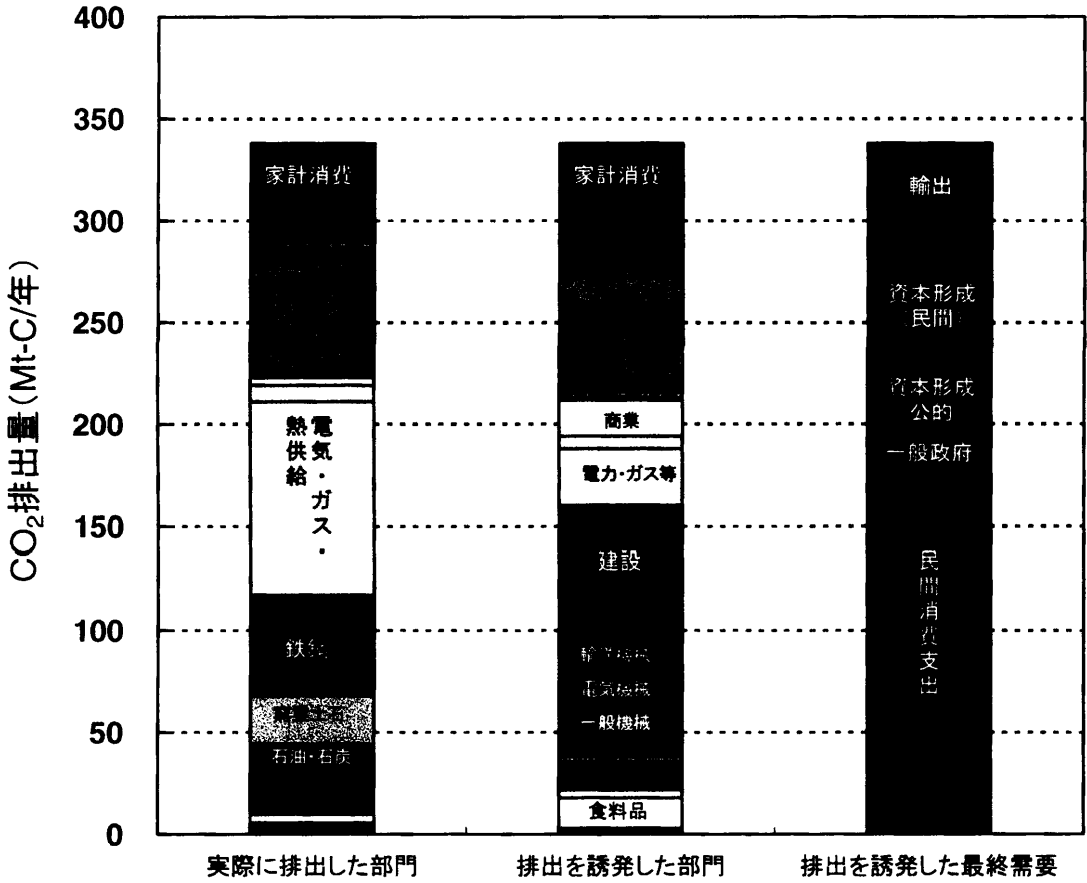
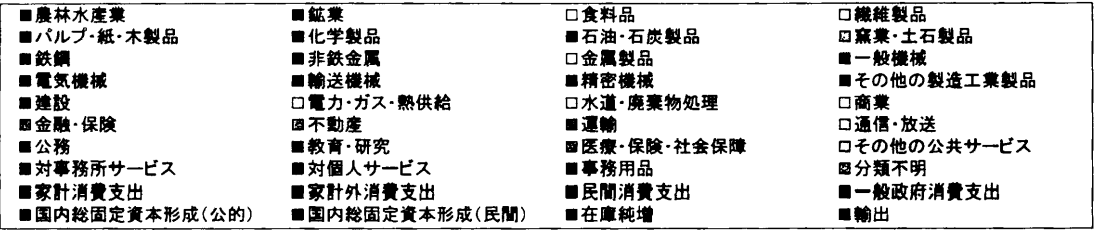


図 3-4 部門別にみた CO₂ 排出量(1995 年)

3.2.3 NO_x の排出構造

1995 年のわが国の経済活動に伴う NO_x 排出量は 357 万 t と推計された。燃料種別では図 3-5 からわかるよう, B・C 重油が 144 万 t と 40%を占め, 続いて軽油が 80 万 t で 22%, A 重油が 39 万 t で 11%, 揮発油が 26 万 t で 7%となった。排出起源が多岐にわたる CO₂ と異なり, 起源となる燃料が偏っている。B・C 重油からの NO_x 排出量 144 万 t のうち 104 万 t が船舶, 特に「外洋輸送」からの排出である。資源別にまとめると石炭系燃料から 8%, 石油系燃料が 89%, 天然ガス系から 2%の寄与であった。

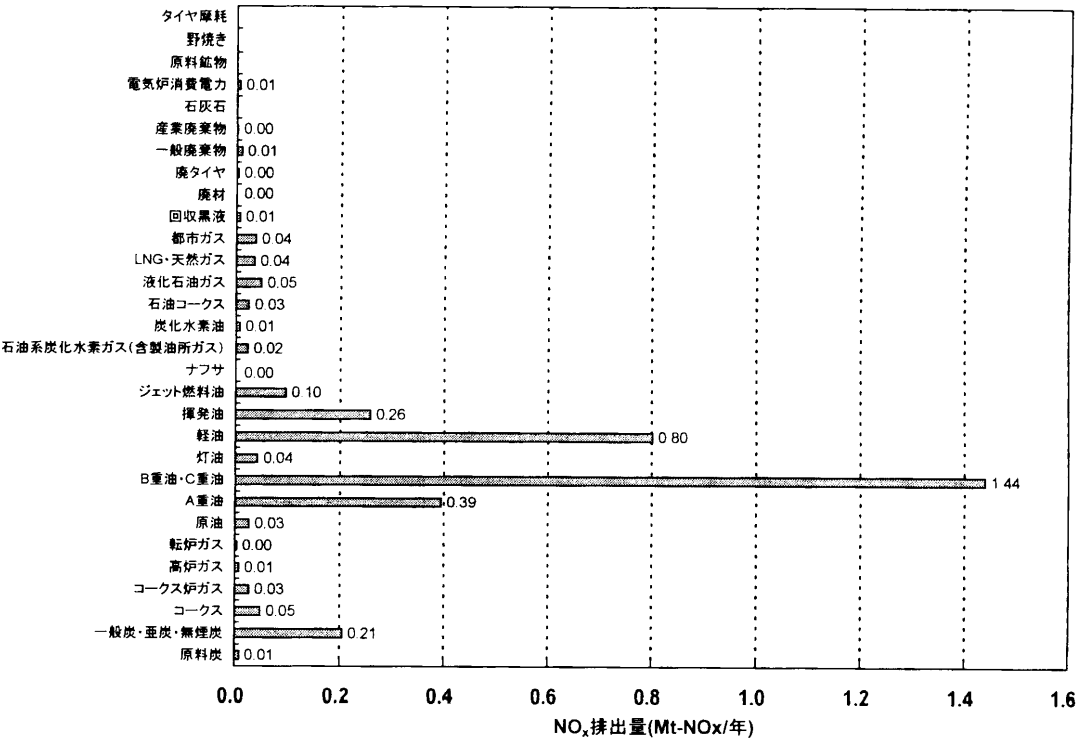


図 3-5 燃料種別にみた NO_x 排出量(1995 年)

図 3-6 に部門別にみた NO_x 排出量を示す。実際の排出は移動発生源である道路輸送, 船舶輸送, 航空輸送などが該当する「運輸」部門が 217 万 t と全体の 61%に上る。脱硝装置や低 NO_x バーナーなど排出抑制技術が設置されている固定発生源からの排出は, 「電力・ガス・熱供給」部門が 26 万 t で 7%, 「窯業・土石」部門が 17 万 t で 5%の寄与と, 消費されるエネルギーに対して極めて小さい。一方, 「農林水産業」では 22 万 t で, このうち移動発生源の漁船から 19 万 t の排出がある。

誘発部門を確認すると, 「運輸」部門の 143 万 t に続き, 「建設」部門が 60 万 t と 17%を占める。「食料品」部門への需要は全体の 6%で 21 万 t の排出を誘発しており, 直接排出量の大きい「農林水産業」部門からの排出量と強く結びついている。「対個人サービス」部門は 17 万 t と 5%の寄与を示したが, これは飲食店が利用する道路貨物輸送や食材として魚介類を使用するため, 漁船を利用するこ

とが理由の一つである。

最終需要部門別では、「輸出」が37%に相当する134万tの排出を促したことがわかる。しかし、「外洋輸送」部門による大型船舶からの排出が主たる原因であるため、自動車からの排出のように直接人々が暴露するようなことは少ない。だが一方、海上での排出であっても気象条件により輸送され直接、または化学変化により他の物質に変化し間接的に影響を及ぼす可能性も否定できない。

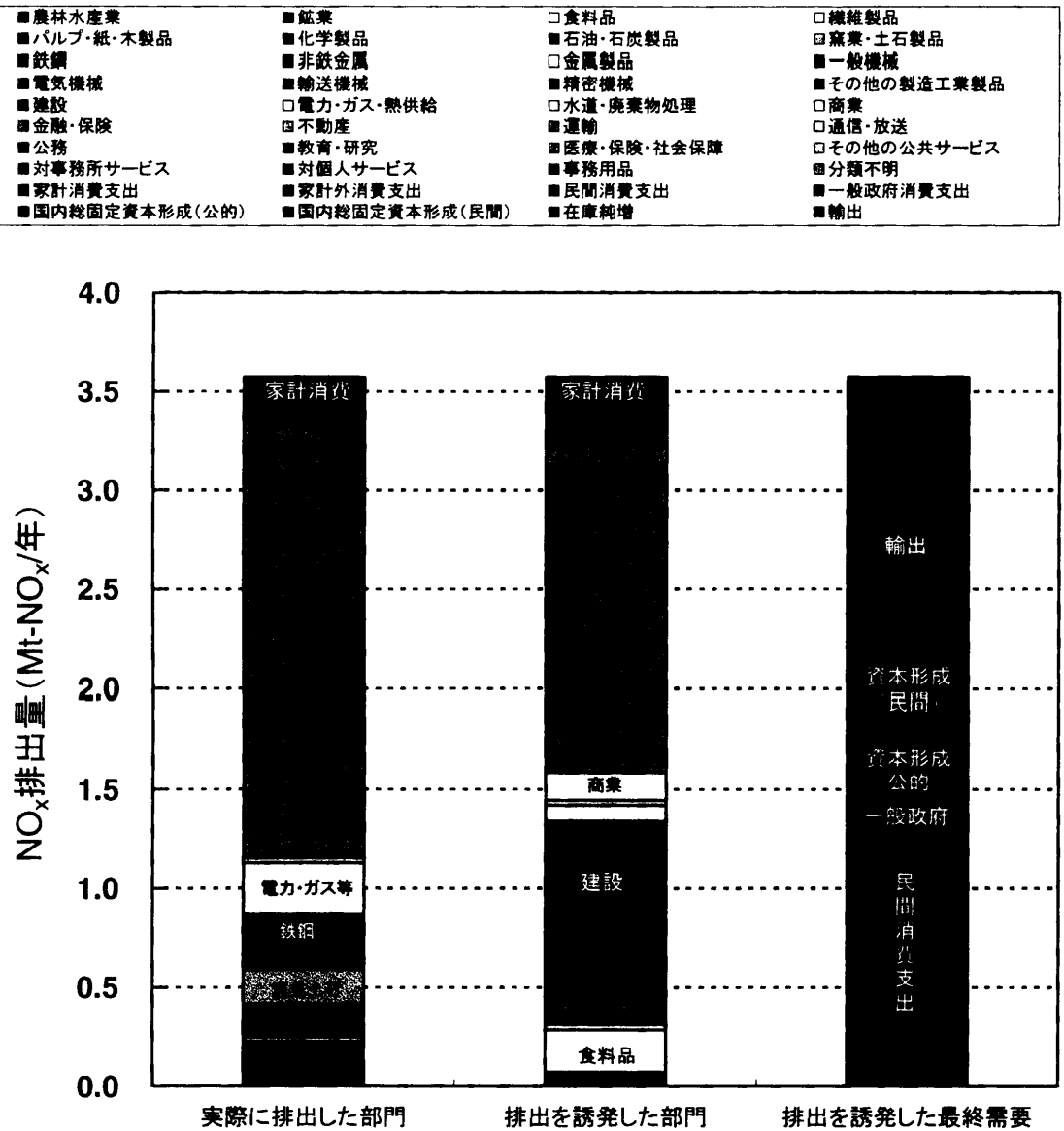


図 3-6 部門別にみた NO_x 排出量(1995 年)

3.2.4 SO_x の排出構造

1995 年の総 SO_x 排出量は 185 万 t と推計された。排出量の燃料種別内訳を図 3-7 に、部門別内訳を図 3-8 にそれぞれ示す。SO_x も NO_x 同様、わが国では脱硫装置の設置がほとんどの施設で行われていることから、移動発生源で主に使用される燃料種からの排出量が多い。B・C 重油が 123 万 t と 67%を占め、A 重油が 26 万 t の 14%、軽油が 9 万 t の 5%となった。固定発生源に該当する消費形態をとる一般炭・亜炭・無煙炭からは 9 万 t と 5%程度の寄与であった。資源別では石炭系燃料は 9%、石油系燃料が 90%、天然ガス系は 0%となる。

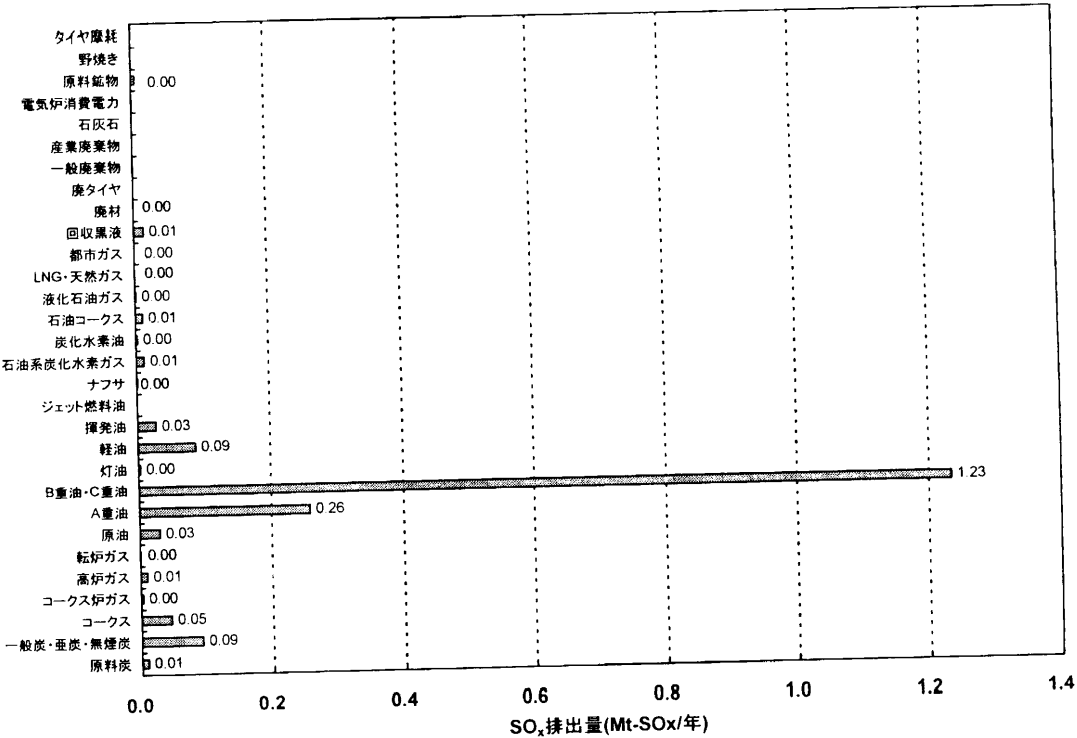


図 3-7 燃料種別にみた SO_x 排出量(1995 年)

部門別では 96 万 t が「運輸」部門から、22 万 t が「電力・ガス・熱供給」から直接排出されており、これらは全体の 52%および 12%であり、合計すると半数を占めることになる。SO_x の排出は使用する燃料種に依存するため、原料炭や一般炭を利用する「鉄鋼」部門や、蒸気ボイラで A 重油や B・C 重油を消費する「食料品」部門は固定発生源の中でも排出量の多い部門であることがわかった。また、「紙・パルプ」部門も同様に、紙の乾燥(ドライヤーパート)に必要な熱源として重油を利用するため SO_x 排出量が多く、回収黒液の利用も原因の一つとなっている。回収黒液は木材からリグニンを溶解する蒸解工程で用いた硫化ナトリウムに起因する硫黄化合物が存在することが原因である。

排出を誘発した部門は「運輸」の 81 万 t に続き、「建設」部門が全体の 9%に相当する 16 万 t となった。「食料品」部門は直接排出量の寄与と、「農林水産業」部門への誘発量があるため、14 万 t の誘発

排出量を示した。

最終需要部門別では「民間消費支出」による需要が 88 万 t、「輸出」による需要が 58 万 t の排出を誘発し、NO_xと異なり輸出の寄与が大きい結果となった。

SO_x はわが国では環境基準の達成率も非常に高く、国内排出に関して大気環境負荷物質として問題となることは少ないが、SO_xによる越境汚染は問題である。東アジア、とりわけ中国からの移流、変質による酸性雨の影響が、中国の経済成長に伴い深刻化することが懸念されている。

■農林水産業	■鉱業	□食品	□繊維製品
■パルプ・紙・木製品	■化学製品	■石油・石炭製品	□窯業・土石製品
■鉄鋼	■非鉄金属	□金属製品	■一般機械
■電気機械	■輸送機械	■精密機械	■その他の製造工業製品
■建設	□電力・ガス・熱供給	□水道・廃棄物処理	□商業
■金融・保険	■不動産	■運輸	□通信・放送
■公務	■教育・研究	■医療・保険・社会保障	□その他の公共サービス
■対事務所サービス	■対個人サービス	■事務用品	■分類不明
■家計消費支出	■家計外消費支出	■民間消費支出	■一般政府消費支出
■国内総固定資本形成(公的)	■国内総固定資本形成(民間)	■在庫純増	■輸出

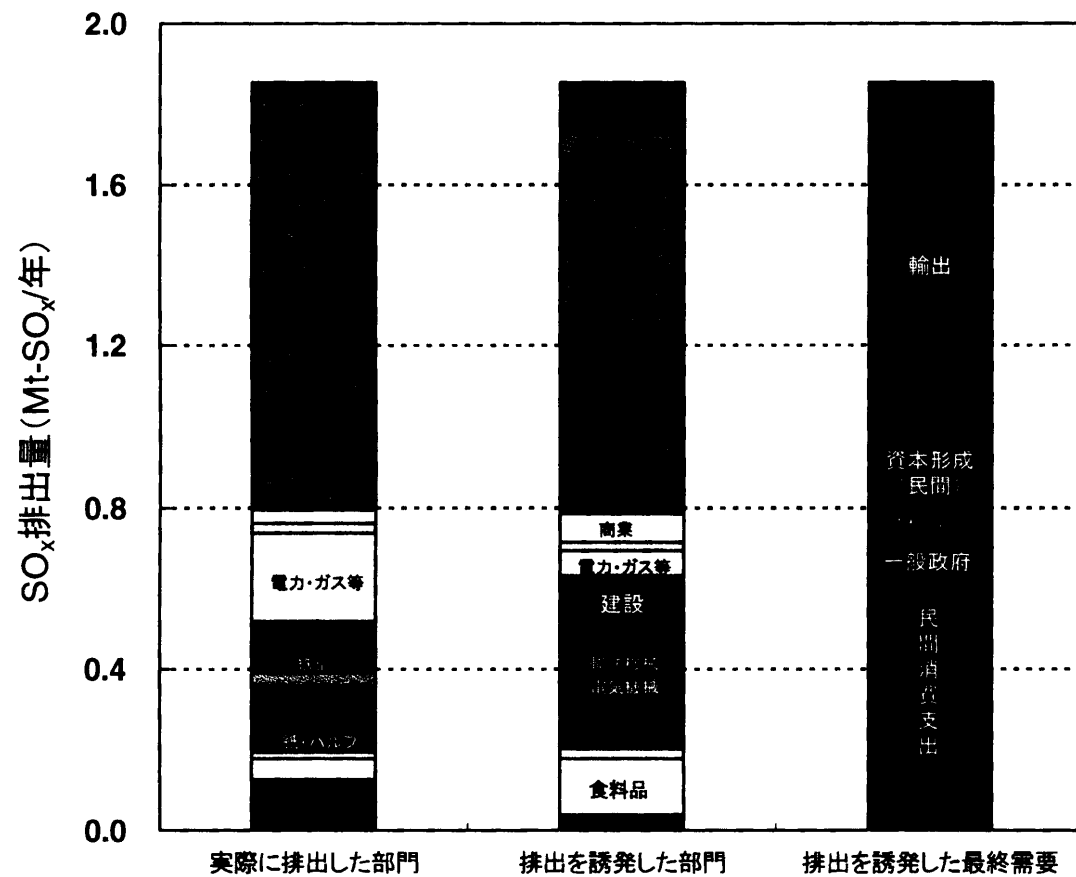


図 3-8 部門別にみた SO_x 排出量(1995 年)

3.2.5 PM の排出構造

人為起源の一次粒子 PM 排出量は 34 万 t と推計され、固定発生源から 16 万 t、移動発生源から 18 万 t の寄与である。燃料種別では B・C 重油から 9 万 t、軽油起源が 7 万 t、A 重油から 4 万 t である。固定発生源の多くは集じん装置が設置されているため、NO_x、SO_xと同じく移動発生源で使われた。燃料種からの発生が多い。また、本研究では PM 排出源としてタイヤの磨耗による発生を考慮したが、この影響は大きく 3 万 t におよび全体の 9% を占めることがわかった。

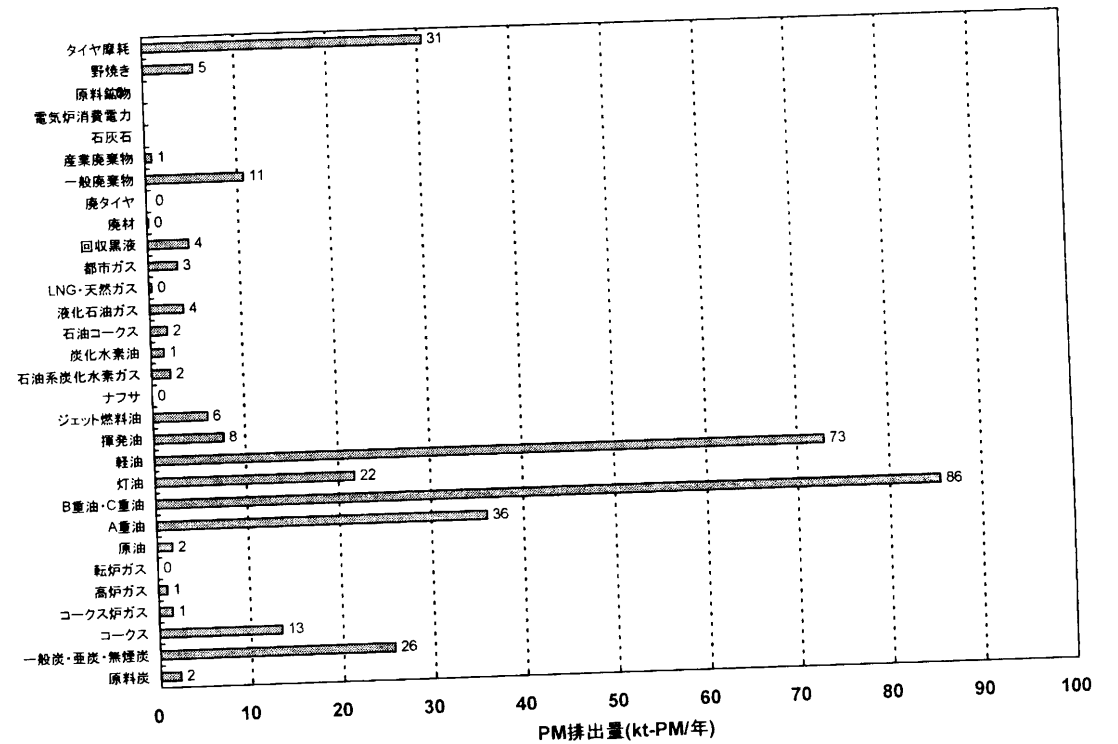


図 3-9 燃料種別にみた PM 排出量(1995 年)

部門別では「運輸」部門による直接排出量が 14 万 t で 42% の寄与であった。「農林水産業」部門が 3 万 t で 10%、「電力・ガス・熱供給」および「建設」部門が共に 2 万 t で 6% を占める。「建設」部門における直接排出量が多い原因の一つとして建設機械からの排出が挙げられる。建設機器は集じん装置の設置が困難であるため、道路関係公共事業、河川下水道公共事業、農林関係公共事業等を使用する大型重機械、あるいは発電動力燃料として軽油、重油の消費による排出が大きく 1 万 5 千 t に及ぶ。「家計消費支出」部門における直接排出量は 1 万 t と 3% の寄与である。これは、「家計消費支出」部門ではガソリン車が主に利用されており、移動発生源の燃料起源による排出は 3 千 t であるが、タイヤの磨耗による排出の 5 千 t に上ることが原因である。

排出を誘発した部門は「運輸」が 8 万 t、「建設」が 7 万 t と他の大気汚染物質と同じ傾向であった。「食料品」部門の寄与は「農林水産業」部門の直接排出量が大きいため、誘発排出量としての割合が

10%となり、NO_x、SO_xと比較し最も大きい値を示した。日頃の食生活が間接的にPMの排出に結びついていることが示唆される。

最終需要部門では「輸出」の寄与は22%に相当する8万tとNO_x、SO_xと異なり大きくはない。ところが、「民間消費支出」部門が40%の14万t、「国内総固定資本形成(公的)」部門が11%の4万t、「国内総固定資本形成(民間)」が15%の5万tと、国内向けの需要による誘発効果が大きい。

今回のPM排出量の推計は、人為起源の一次粒子のみを対象とした。その結果、移動発生源、特に自動車の寄与が大きいことが明らかとなったが、凝縮性ダストや大気中のガス状物質の粒子化など、二次粒子を考慮した場合、固定発生源の寄与率が増加するものと考えられる³⁾。

■農林水産業	■鉱業	□食品	□繊維製品
■パルプ・紙・木製品	■化学製品	■石油・石炭製品	□窯業・土石製品
■鉄鋼	■非鉄金属	□金属製品	■一般機械
■電気機械	■輸送機械	■精密機械	■その他の製造工業製品
■建設	□電力・ガス・熱供給	□水道・廃棄物処理	□商業
■金融・保険	□不動産	■運輸	□通信・放送
■公務	■教育・研究	■医療・保険・社会保障	□その他の公共サービス
■対事務所サービス	■対個人サービス	■事務用品	■分類不明
■家計消費支出	■家計外消費支出	■民間消費支出	■一般政府消費支出
■国内総固定資本形成(公的)	■国内総固定資本形成(民間)	■在庫純増	■輸出

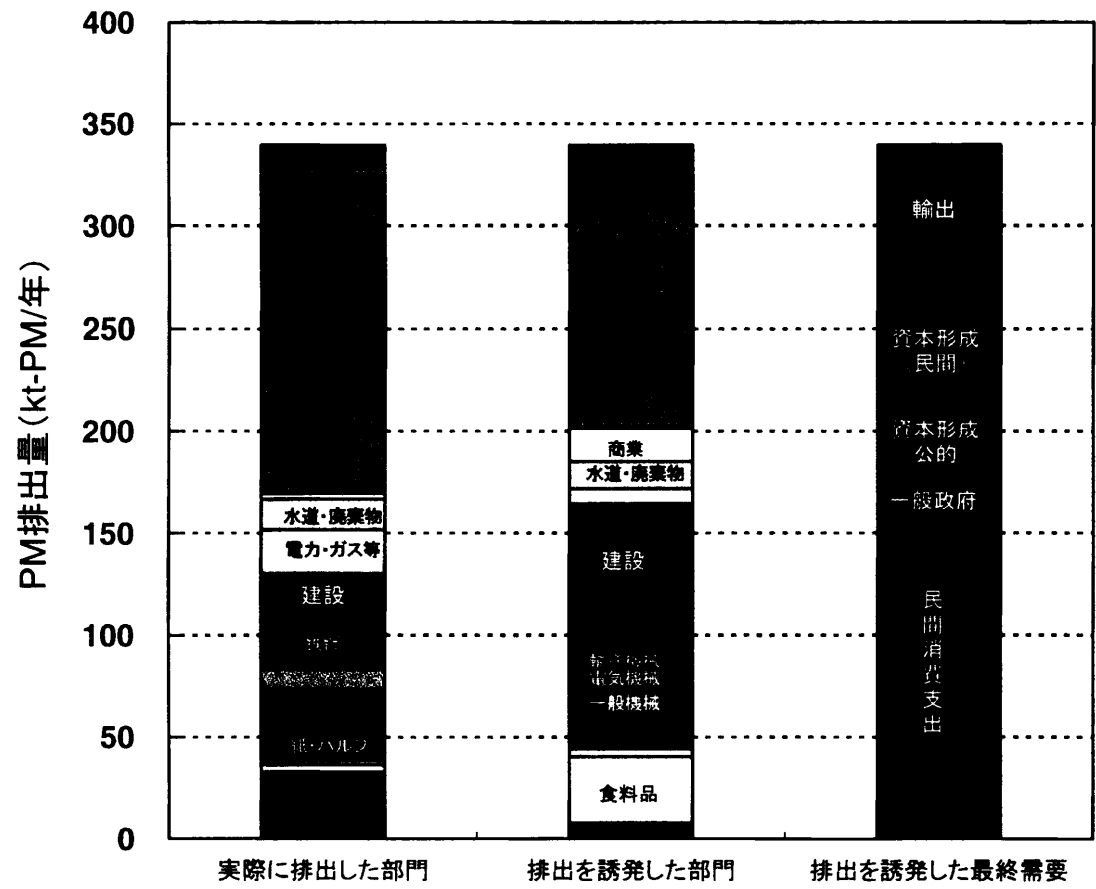


図 3-10 部門別にみた PM 排出量(1995 年)

3.3 まとめ

本章により得られた結果を以下にまとめる。

- 32 分類に統合した経済活動部門に家計消費部門を加え、各部門におけるエネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_x および PM 排出量を明らかにした。
- 各環境負荷量に関する燃料種別寄与を明らかにした。
- 各部門からの直接的な環境負荷量のみならず、各産業部門への経済的需要により誘発される環境負荷を定量的に分析した。また、最終需要を 6 種に分類し、それぞれの需要と輸出需要が誘発した負荷量を明示した。
- わが国の経済活動に伴う総エネルギー消費量は 1995 年において 4,138Ecal と推計された。燃料種別では B・C 重油起源の消費が多く、部門別の直接的な消費量は「電力・ガス・熱供給」部門、「運輸」部門がそれぞれ 29%、18%を占める。
- 全体の 14%に相当するエネルギーが「建設」部門への需要により消費されたことがわかった。また、飲食店や娯楽施設などが該当する「対個人サービス」部門への需要が 7%のエネルギー消費を促したことがわかった。最終需要部門別では、「民間消費支出」による需要が全体の消費量の 51%を占めた。
- 総 CO₂ 排出量は 3.4 億 t と推計され、B・C 重油による排出が 13%であった。部門別では、「電力・ガス・熱供給」部門が 28%を占め、石灰石を使用する「窯業・土石製品」部門の寄与は 7%であることがわかった。
- 誘発部門別では「建設」部門への需要が 18%の CO₂ 排出量を引き起こしたことがわかった。最終需要部門別では、資本形成に対する需要が 27%に相当する CO₂ を誘発した。
- NO_x 排出量は 357 万 t と推計され、燃料種別では B・C 重油の燃焼による排出が 40%を占めた。部門別では「運輸」部門が 61%と大きく、「電力・ガス・熱供給」部門の寄与は 7%にとどまった。
- 誘発部門は「運輸」部門、「建設」部門に続き、「食料品」部門の寄与が大きく、6%に上ることがわかった。最終需要部門では、「輸出」需要が 37%にあたる NO_x 排出を引き起こしたことが明らかになった。
- SO_x 排出量は総計で 185 万 t と計算され、燃料種別では B・C 重油が 67%を占める結果となった。また、「運輸」部門が直接排出量として 52%の寄与を示した。
- 誘発部門としては、「運輸」部門はもとより、「建設」部門および「食料品」部門に対する需要もそれぞれ 9%、7%の寄与が認められた。最終需要部門は「民間消費支出」が 31%、「輸出」需要が 47%となった。
- 人為起源の一次粒子を対象とした PM 排出量は 34 万 t となり、そのうち、固定発生源から 47%、移動発生源から 53%の排出があることがわかった。燃料種別では、B・C 重油が多く、軽油、A 重油と続いた。非燃焼由来としてタイヤの磨耗による排出を考慮したが、その結果、全体の 9%にあたる排出量となった。直接排出部門としては「運輸」部門が 42%、「農林水産業」部門が 10%を占めることがわかった。

- PM の排出を誘発したのは「運輸」、「建設」への需要によるが原因であり、最終需要部門別では「輸出」部門は 22%であり、資本形成に関する需要が 26%におよぶ排出量を誘発したことが明らかになった。

参考文献

- 1) 環境庁(2000), 温室効果ガス排出・吸収目録(インベントリ)(2000 年条約事務局提出分).
- 2) 近藤美則, 森口祐一(1997), 産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 国立環境研究所.
- 3) 指宿堯嗣(2000), 浮遊粒子状物質による環境問題と今後の研究開発, 資源と環境, 工業技術院資源環境技術総合研究所, 9, 1-11.

第4章

大気環境負荷原単位の LCA への適用

4.1 大気環境問題と次世代自動車の台頭

わが国における運輸部門からの大気汚染物質排出量は多く、CO₂ は全体の 17%、NO_x は 58%を占めることが第 3 章で確認された。運輸部門の中では外洋船舶による排出は多いものの、我々の健康への直接的な影響を考えると、自動車の排出抑制は早急な課題といえる。家計消費部門の主にマイカー利用に伴う排出と考えられる揮発油、軽油からの CO₂ 排出量は合せて 20Mt-C に及ぶことから、自動車の中でも特に、乗用車に関する環境低減策の優先度は高い。わが国における自動車の趨勢は、その利便性のため、保有台数は増加傾向にあり、バブル経済の崩壊後もガソリン、軽油の燃料消費量は増え続けている。特に、80 年代後半からは乗用車の中でレクリエーションビークル、いわゆる RV (Recreational Vehicle) 車の人気が高まり、安全対策による車両重量の増加、オートマチック車の普及などを背景とし、輸送効率(燃料消費量/km・人)が悪化に転じている¹⁾。

現在、この問題に対する打開策として、各自動車メーカーにおいて燃料消費率の向上、交通渋滞の緩和を初めとする排出抑制策に加え、電気自動車(EV:Electric Vehicle)、燃料電池車などの ZEV (Zero tailpipe Emission Vehicle) の開発が世界的な技術協力の中、実用化に向けて盛んに行われている。例えば、ダイムラークライスラーとフォードは、燃料電池技術のパイオニアであるカナダのバード・パワー・システムズに共同投資しており、他社にも参加を呼びかけている。また、トヨタとゼネラル・モーターズは、次世代技術に関連した研究情報を共有化することで合意している²⁾。従来の内燃機関自動車と比較し、現時点では価格の割高感や性能の未成熟さが残ることから、短期間で急速な普及は望み難いが、ZEV が市場競争力を有することができれば、その普及に伴う大気環境改善に対

する有効性は大きいと期待できる。

一方、ZEVの一つである電気自動車の普及を妨げている要因として、同性能を発揮する内燃機関自動車と比較した場合の購入価格の割高感と共に、発展途上である性能が指摘されよう。その性能の中でも特に、1充電当たりの走行距離が80～190kmと短いことが問題視されている。電気自動車を内燃機関自動車の代替車として利用するには、1充電あたりの走行距離の向上とともに、それを補うインフラストラクチャーとして充電ステーションの設置が一つの有効な手段としてあげられる。わが国では平成4年に資源エネルギー庁により提唱された「エコ・ステーション2000計画」に基づき充電ステーションの普及が行われている³⁾。しかし、EVの普及を計る上では充電ステーションの設置を全国的にかつ、大規模に行わなければならないことが予想される。その結果、設置に伴う環境負荷によりEVの環境負荷低減効果に与える影響が懸念される。自動車による大気環境問題の改善に、EVの有効性を真に明らかにするためにはインフラ整備も含めた総合的な評価を必要とする。

4.2 本章の目的と研究方法

EVに関する大気環境負荷は充電段階における発電所からの間接負荷が大きな原因であり、その量は全負荷量の約5割を占めるとの報告がある^{4,5)}。したがって、充電段階における環境負荷量の精度は全体の評価に大きな影響を与えと考えられ、充電段階における負荷を詳細に検討することは非常に重要である。しかし、これまでは充電による負荷量をわが国の代表的な発電構成に基づく平均的な排出係数(環境負荷量/kWh)によって算出していることが多く、本来、地域や時間帯によって異なる排出係数の実態が反映されていない結果となっている。

ゆえに、本章では発電構成の違いなどから生ずるEVの利用地域による大気汚染物質排出量の違いを考慮し、普及のためのインフラ整備による排出を含めたLCI分析から、EVの導入による大気環境負荷への低減効果を定量的に評価することを目的とする。評価物質としてCO₂、NO_x、SO_xを対象とし、積み上げ法により諸データ収集し、インベントリデータとして第2章で得られた原単位を併用する。本章における分析の概要を図4-1に示す。

まず、EVの車体製造および廃棄に伴う環境負荷量は、ガソリン自動車からのコンバート車を想定し算出した。次に、EVの普及に必要な社会資本整備として充電施設、特に、家庭外における充電(パブリック充電)で利用される充電ステーションの施設を対象とし、その設置により誘発される環境負荷量を算出した。分析の境界条件は充電機器生産段階、機器輸送段階、設置工事段階である。

走行段階、すなわち充電に伴う環境負荷量はEVの利用者層を設定し、各層の一日あたりの充電量と充電時間帯のモデル化を行った。さらに、わが国の各地域の電力需給状況を考慮し、発電システムの製造・運営・維持等に関する負荷量を加えた充電に関する排出強度(環境負荷量/kWh)を算出し、先の充電時間帯モデルに従って走行段階における排出量を計算した。これと車体製造、充電施設および廃棄段階についての結果とを合わせ、EV一台あたりのライフサイクル環境負荷量を求めた。

また、深夜電力を利用することによるEVのライフサイクル環境負荷量の変化と、従来の内燃機関自動車からの代替普及に伴う、環境負荷物質の全国的な排出抑制効果を考察した。

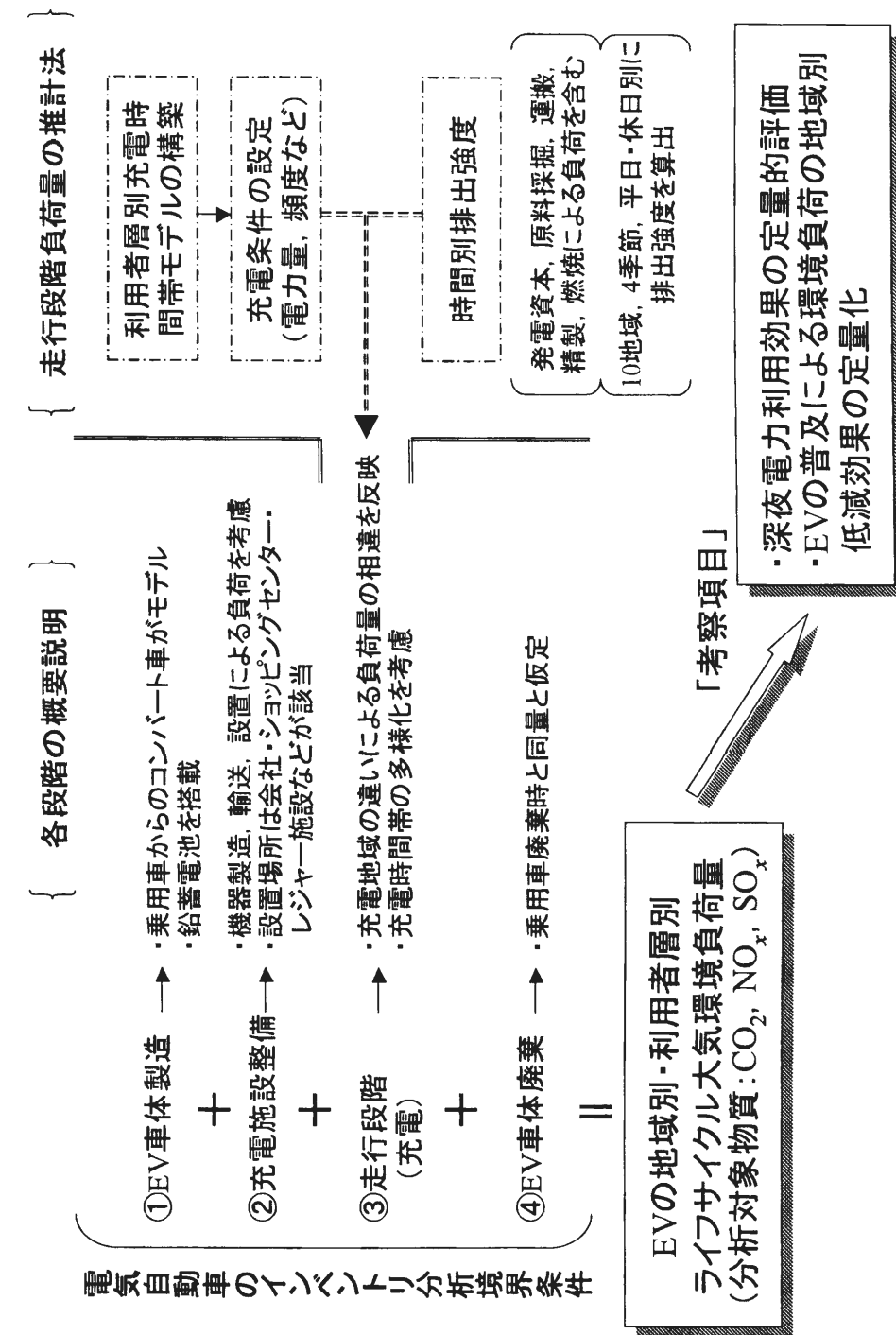


図4-1 EVの導入による環境負荷低減効果分析の概要

4.3 車体製造・廃棄に伴う環境負荷量

EV の車体に関する詳細な素材構成を得ることは非常に困難であることから、本研究では比較的低価格での生産が可能な従来車からのコンバートによるEVを次のように想定した。コンバートの対象車種は平均的な5ナンバーの小型ガソリン自動車とし、ガソリン車の生産により誘発される環境負荷量から、EV への転換時に必要、不必要な部位に関する負荷量を加減し、EV 車体の環境負荷量を推計した。このとき、ガソリン車の車体重量を 1,000kg とし、各部位の重量を車体とエンジン重量とのバランスを基準に調整した。

基本となるガソリン車の生産により誘発される排出量は、産業連関表基本分類の「乗用車」部門の排出強度に連関表付帯の品目別生産額表に記載の小型車平均単価 117 万円を乗算し算出した。EV に必要な部位として、電池、モーター、コントロールユニットを取り上げ、ガソリン車固有の部位として、エンジン、燃料タンク、排気管を考慮した。搭載電池は鉛蓄電池とし、搭載数は 20 個である。各部位に関する負荷量は、それらの素材構成をもとにおおよそ合致する産業連関表部門の排出強度と平均単価を用いて求めた。表 4-1 に示す各部位の素材構成と重量を、表 4-2 に鉛電池 1 個あたりの素材構成を示す。

以上の手法から、EV 車体に関する負荷量は CO₂ が 1.09t-C、NO_x が 5.28kg、SO_x が 4.33kg と決定した。またガソリン車の車体については CO₂ が 0.90t-C、NO_x が 4.41kg、SO_x が 3.43kg と推計した。

車体の廃棄は実際には幾つもの工程を経て行われるが、廃棄に関連し投入される中間財などの実状の把握が困難であったため、ここでは乗用車と同等の負荷量であると仮定し、廃棄時のシュレッダーの運転に要する電力量に関する環境負荷量のみ考慮した。2,000 馬力シュレッダーで1時間に 100 台の乗用車が処理できるものと考え、一台あたりの電力消費量は 15kWh となり、この発電にかかる負荷を計上した。

廃棄段階における負荷量はEV およびガソリン車とも共通で、CO₂ が 0.002t-C、NO_x が 0.006kg、SO_x が 0.005kg と推計した。

表 4-1 電気自動車へのコンバートで置換される部位

部 位	鋼板(kg)	アルミニウム(kg)	電気銅(kg)	ABS(kg)	ステンレス(kg)	全量(kg)
モーター	27	7	10	14	0	46
コントロールユニット	2	0.7	1.1	0.2	0	3.6
エンジン	95	17	3	0	0	116
燃料タンク	16	0	0	0	0	16
排気管	26	0	0	0	6	32

表 4-2 鉛電池 1 個あたりの構成素材

構成物質	鉛(kg)	希硫酸(kg)	ガラス繊維(kg)	ポリプロピレン(kg)	其他合金(kg)	全量(kg)
重量	16	3.63	0.2	1.2	0.154	21.1

4.4 EV 普及のための社会資本整備

現在、わが国において EV を普及させるための充電ステーション設備件数は約 60 件程度であり、東京都、愛知県、大阪府といった大都市に偏在しているが、我々は全国的な普及を想定した。また、「エコ・ステーション 2000 計画」³⁾では敷地をはじめ施設の一部や作業員を共有できるという利点から、既設のガソリンスタンドに充電ステーションを併設する方針を採っているが、本研究では南カリフォルニアで行われている先行事例を参考に(図 4-2 参照)、充電ステーションの設置箇所を選定した。

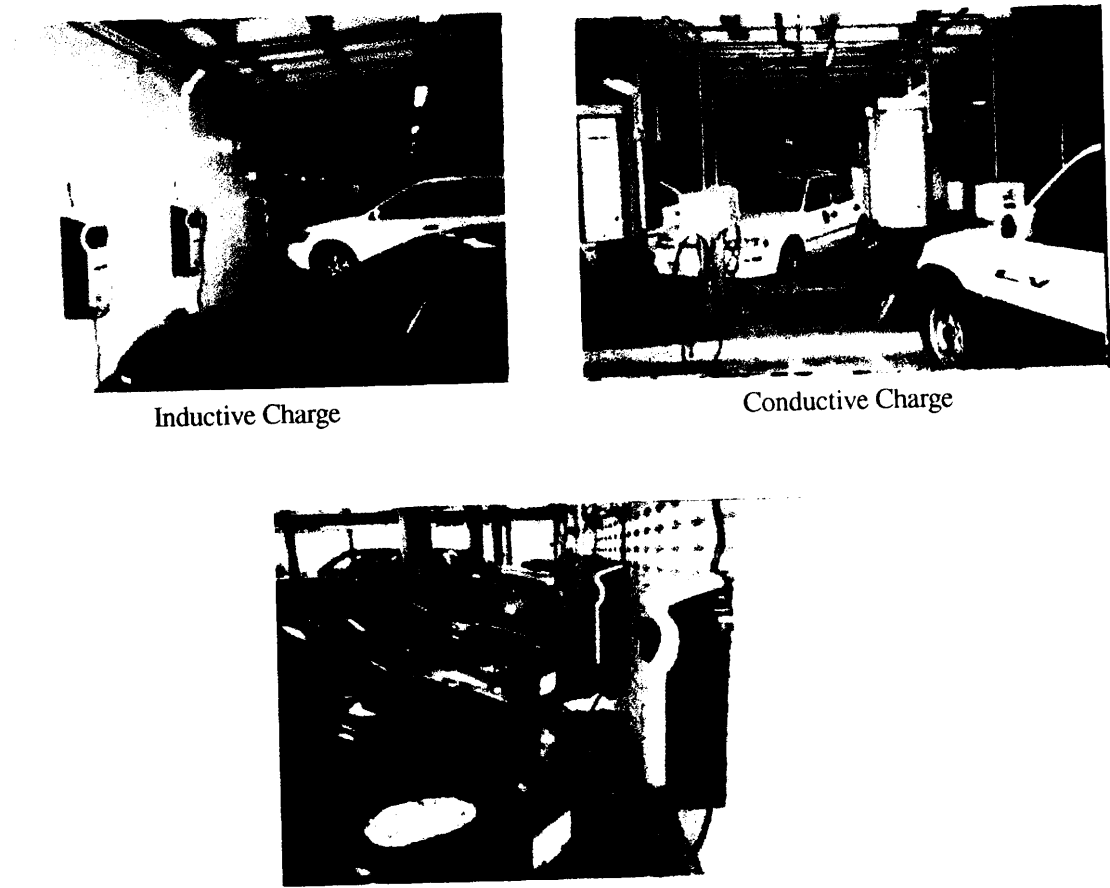


図 4-2 ロスアンゼルス充電ステーション風景(筆者撮影 1999 年 3 月)

4.4.1 南カリフォルニアの充電ステーションプログラム⁶⁾

南カリフォルニアにおける大気汚染の約 60%が自動車起源と言われており、大気環境改善の重要性と市民意識の高まりから、ロスアンゼルスを中心とするカリフォルニア州の各行政区では大気汚染防止の施策として EV の普及に力を入れている。また、カリフォルニア州では 2003 年より大手 7 社の車メーカーに対し、新車販売台数の 10%に相当する ZEV 販売義務が課せられることから⁷⁾、この地域では充電ステーションの必要性は他地域に比べ極めて高く、行政を中心に充電ステーション拡大プログラムが遂行されている。その一つとして、1996 年から 1998 年にかけて行政プログラム「Quick

Charge」が行われ、このプログラムの資金提供を受け111カ所、356個のレベル2に該当する充電ステーションが設置された。充電ステーションはその充電方式によって Inductive charge と Conductive charge に分類され、車種により異なることから、現在ではこれら2種を共に普及させている。現時点での南カリフォルニアにおける設置件数を表4-3に示す。

表 4-3 南カリフォルニア地域の充電ステーション数

設置地区名	設置箇所数	ステーション数	
		Inductive	Conductive
ロスアンゼルス	140	276	165
オレンジ	40	64	39
サンパナディーノ	25	40	35
リバーサイド	23	27	15
合計	228	407	254

設置されている充電ステーションの多くはレベル2とよばれる充電レベルである。レベルは電力量によって区分されており、レベル1はいわゆるホーム充電にあたり、完全に充電されるまで約8時間を要するが、レベル2は約3時間、レベル3では5～10分程度で完了する⁸⁾。

普及している充電ステーションはレベル2に相当し、その利用は充電が主たる目的ではなく、仕事やショッピング、通院のようにある程度の時間を費やす目的に対する副次的な行動として行われている。したがって図4-3に示すように、その充電ステーションの設置場所は商業地区(23.7%)、行政・公共施設(20.2%)、会社(20.2%)となっており、以下、駅(9.6%)、ショッピングセンター(6.1%)と続いている。

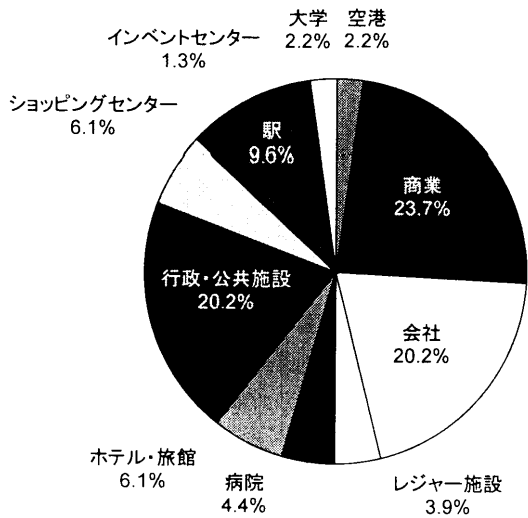


図 4-3 南カリフォルニアにおける充電ステーションの設置施設割合

また、「Quick Charge」の継続プログラムとして1999年から「EV Charge」が行われ、さらなる充電ステーションの設置を計画している。拡大対象としているカテゴリーは高集客地、企業駐車場、公共施設、既存ステーションの拡張である。このプログラムにより設置した充電ステーションの所有者は、設置後3年間充電料金を自己負担し、3年間は操業義務がある。レベル1の充電コストは通常料金の60%に

相当する3円/kWh(1ドル=120円)と、有料であることから⁹⁾、充電費用を設置者側が負担することにより集客インセンティブとして機能することを狙っている。

4.5 わが国における充電ステーション設置数の推計

本研究では上述のプログラムを参考にレベル2に当たる充電ステーションの設置箇所を市街地および高速道路上に対し、次のように選定した。

4.5.1 市街地における設置

市街地への設置は商用駐車施設、ショッピングセンター、公共機関、病院等の駐車場といった比較的長時間の駐車が見込まれる場所を対象とした。可能な限り市区単位で対象数を計上したが、統計表の都合上、都道府県単位でしか情報が得られなかった場合は、各都道府県の総人口に対する市区人口の大きさで按分した。したがって、本研究で得られた市区単位の充電ステーション設置対象数は厳密な数値ではなく、後述する充電機器の輸送距離の算出に際し、地理的特質を反映させるための便宜上の手段である。また計上した全ての施設に設置されることは考えにくいことから、施設規模等の条件を考慮せず計上した施設に対しては設置可能割合を設定した。次に各々の推計手法について述べる。

(1) 一時利用駐車場(商業)

南カリフォルニアでの設置場所として一時利用駐車場が考えられている。ロスアンゼルスを始め、都心部に多くの駐車場が設けられていることが理由であるが、わが国でも中心地に同形態の駐車場が存在することから、同様に一時利用駐車場を設置対象とし、その1割に設置されるものとした。一時利用駐車場とは時間単位または一回単位で料金が設定されており、ある特定の施設利用者のためでない駐車場を指す。設置数の計上は資料¹⁰⁻¹¹⁾により可能な限り調査を行った。

(2) 飲食店(商業)

「Quick Charge」の商業範疇として該当する設置場所を検討した場合、駐車場の所有と駐車時間の充電時間に対する妥当性を考慮すると共に、サンフランシスコではレストランへの設置も行われていることから¹²⁾、わが国では飲食店の中でもいわゆるファミリーレストランを設置対象として考えた。そこで、「商業統計表」¹³⁾よりファミリーレストランタイプとして掲載されている店舗数を引用し、その1割を計上した。

(3) 会社

「EV Charge」では250人以上が従事している事業所を対象としているが、わが国では都市部での企業専用駐車場は少ないことを考え、いわゆるオフィスに該当する事業所は計上せず、工場に該当する事業所を対象とした。数値は「工業統計」¹⁴⁾に記載のものを利用したが、統計データの都合により本研究では300以上の従業者を有する工場のみ考慮した。

(4) 行政・公共施設

都道府県庁、市区役所、公立図書館を取り上げた。都道府県庁および市区役所はそれぞれの市区に計上し、公立図書館については「地域経済総覧」¹⁵⁾の値を参考にした。「Quick Charge」では電気水道局など他の行政施設にも設置されているが、推計が出来なかったため計上しなかった。

(5) ホテル・旅館

ある程度の規模を持つ駐車場を保有しているホテルおよび旅館を対象とするため、統計表¹⁶⁾より従業員数が 100 人以上である事業所を計上した。

(6) 病院

駐車場の有無を考え、ここでは病床数が 400 以上の収容施設を有する医療機関を対象とした。市区別単位では一般診療所を含む医療機関数に限りデータが得られたことから、都道府県別で掲載されている対象病院数¹⁵⁾を先の医療機関数で比例配分し市区別病院数を推定した。

(7) ショッピングセンター

比較的規模が大きく駐車施設が完備されている可能性が高い第 1 種大型小売店を対象とし、市区単位のデータを収集した¹⁵⁾。全小売店数に対し第 1 種大型小売店の数は非常に少ないこと、他の設置対象と比較し集客率および設置店側への利点も高いことから 2 割の設置割合とした。第 1 種とは売場面積 3,000m²(東京 23 特別区と 12 政令指定都市は 6,000m²)以上に該当する小売店であり百貨店もこれに含まれる。

(8) レジャー施設

レジャー施設として博物館、美術館、遊園地、テーマパーク、動物園、水族館を考慮し、「地域経済総覧」および「特定サービス産業実態調査報告書」¹⁷⁾を用いて値を算出し、1 割の設置率とした。

(9) 空港・駅

空港の所在は「航空輸送統計年報」¹⁸⁾より引用し、該当市区に対し空港数として割り当てた。また駅に付属する駐車場は統計の都合上、商業駐車場に含まれている。

(10) イベントセンター・大学

イベントセンターとして野球場、体育館、コンサートホールなどが対象箇所として挙げられるが、数値の把握が出来なかったため本研究では計上から除外した。また、大学への設置については自動車でのアクセスを推進する学術機関が少ないと考えられることから対象外とした。

4.5.2 高速道路上における設置

カリフォルニアのプログラムではフリーウェイ付近への充電ステーション設置の重要性を説いている。フリーウェイから半マイル以内にある充電ステーションから 5 マイルの緩衝地帯を設け、その範囲に該当しない地域をギャップ地域として定義している。またギャップ地域の充電ステーションの設置に対しては補助金の上限が 10% 上昇する⁶⁾。

わが国の高速道路はカリフォルニアのフリーウェイと異なり、有料であることから実際に高速道路上に充電ステーションが設置される必要がある。そこで本研究ではサービスエリア(S.A)およびパーキングエリア(P.A)を設置対象とした。考慮した高速道路とその諸元を表 4-4 に示す。S.A および P.A の間

隔は 42.5km 以下であることから、現在の EV の性能に対し対応可能な設置間隔であると考えられる。

表 4-4 充電ステーションの設置対象とした高速道路とその諸元

高速道路名	P.A/S.A 数	最大間隔 km	最小間隔 km	平均間隔 km
道央自動車道	12	28.8	17.1	23.6
東北自動車道	41	24.2	5.2	15.6
常磐自動車道	11	20.6	9.6	15.4
関越自動車道	16	23.0	7.3	14.5
上越自動車道	8	26.7	17.2	21.2
中央自動車道	20	24.6	8.3	16.4
北陸自動車道	26	27.9	7.9	18.5
東名自動車道	22	24.4	8.9	15.2
名神自動車道	12	29.8	3.3	15.0
中国自動車道	29	24.7	8.9	17.4
山陽自動車道	20	42.5	9.0	21.0
高松～松山自動車道	7	31.8	8.3	17.0
九州自動車道	19	30.1	9.8	18.4
長崎自動車道	7	19.9	10.1	14.9
大分自動車道	6	27.4	14.5	20.0
宮崎自動車道	4	27.3	11.4	20.2
合計/平均	260	27.1	9.8	17.8

4.6 充電ステーションに関する LCI 分析

充電ステーションは充電器、蓄電池、充電スタンドから構成されている。カリフォルニアのパブリック充電はオフピーク電力を利用するのではなく、直接供給される電力を用いている。したがって、充電機器としては充電スタンドとその付属機器のみの設置となっている。しかし、わが国ではオフピーク電力の利用を促進していることから³⁾、充電スタンド、充電器および蓄電池も設置し、深夜電力を利用する場合と、蓄電池を設置せずカリフォルニアと同様の電力供給形態を採る場合との二つを考えた。

各々の機器は現在わが国で設置済み充電ステーションにおいて数多く採用されているものをモデル機器として用いた。また充電ステーションの設置により誘発される環境負荷量の推計は機器製造段階、輸送段階、設置段階を計算対象範囲とした。次に各段階の計算手法を述べる。

4.6.1 充電機器生産段階

充電機器生産段階における環境負荷量の推計は産業連関表より求められた原単位(負荷量/百万円)を用いて次のように行った。まず表 4-5 に示す各部位の構成材料と産業連関表付帯表「部門別品目別国内生産額表」とを対応させ、構成材重量から生産者価格に変換した。次に該当する原単位を求めた価格にそれぞれ乗じた。

組立時に関する負荷量は充電スタンド、充電器についてはデータの収集が困難であったこと、構成材に加工製品が多いため、これらの組立時に発生する環境負荷は蓄電池に対し比較的小さいと想定できることから本研究では考慮しなかった。蓄電池については構成材の類似性から自動車用バッテリー生産時の負荷から類推した。すなわち、自動車用バッテリー 1 個当たりの生産時における排出量を

「石油等消費構造統計」¹⁹⁾より算出し、重量比から蓄電池が自動車用バッテリー267個分に相当するものとした。

表 4-5 充電ステーションに設置する充電機器の構成素材

充電スタンド		蓄電池		充電器	
構成材	kg	構成材	kg	構成材	kg
鉄	73	鉄	760	鉄	400
銅	11	銅	20	銅	80
アルミニウム	1	鉛	2400	アルミニウム	50
パソコン	4.5	プラスチック	200	ブレーカー6個	30
カードリーダー	1.5	希硫酸(濃度30%)	560	サイリスタ	20
ディスプレイ	2.25	ガラス	60	コンデンサ	6
その他	6.75	合計	4000	抵抗器	6
合計	100			その他	8
				合計	600

4.6.2 機器輸送段階

メーカーへのヒアリングにより充電機器の輸送は 10tトラックで行われるとのことから、本研究においても 10tトラックを使用し、一カ所の設置に際し一往復の輸送が必要であると想定した。輸送距離はモデル機器の生産工場所在地(京都市南区)を始点とし目的地までの高速道路距離、一般道路距離、船舶輸送距離をそれぞれ、地図ソフトおよび各種地図、ホームページを参考に算出した。輸送先は市区役所所在地を代表させ、使用路線の選択は高速道路輸送を優先し、輸送距離が短くなることを選択基準とした。輸送先を市区役所所在地に代表させることには問題があるが、代表輸送先を都道府県単位から市区単位に詳細化することにより、各地域に関する地理的背景を反映させた。ただし首都高速道路については走行速度を配慮し、一般道として扱っている。また船舶輸送は北海道、鹿児島県および沖縄県輸送時のみ利用するものとした。

走行速度は高速道路上では平均 70km/h で走行し、この速度での燃料消費率を 5.1km/l と仮定した。一般道での走行は平均 32.5km/h で燃料消費率を 4.8km/l とし、ただし東京都区内、大阪市内については 20km/h とし、燃料消費率を 4.2km/l とした²⁰⁾。道路貨物による輸送走行時の各種排出係数および船舶輸送時における排出係数はそれぞれ表 4-6～4-7 に示す値を用いた²¹⁻²²⁾。また輸送貨物の車重は非積載時で 6.2t とした²³⁾。

表 4-6 充電機器陸上輸送時の排出係数

排出係数	東京都区内・大阪市内	一般道路	高速道路
CO ₂ (g-C/L)	721	721	721
NO _x (g/ton・km)	0.63	0.53	0.44
SO _x (g/ton・km)	0.16	0.14	0.13

表 4-7 充電機器海上輸送時の排出係数

排出係数	船舶輸送
CO ₂ (t-C/10 ⁶ ton・km)	9.69
NO _x (t/10 ⁶ ton・km)	0.275
SO _x (t/10 ⁶ ton・km)	0.195

4.6.3 機器設置段階

充電ステーションの設置には深夜電力利用のための基礎工事と据付工事が行われるが、各種工事に投入される財などを正確に把握できなかったため、本章ではヒアリングによる工事価格から相当電力量(1,662kWh)を求め計上した。

4.7 充電ステーション設置に伴う環境負荷量

設定した条件に基づき充電ステーション設置箇所を集計した結果、約 14,000 箇所が計上された。カテゴリ別では図 4-4 に示すように、商業(一時利用駐車場・飲食店)が約 26%, 行政・公共施設が 20%, 会社が 21%, レジャー施設が 17% となった。南カリフォルニアとの相違が多少見られるが、イベントセンター、興行施設、大学、駅を対象外としたことが原因の一つと考えられる。

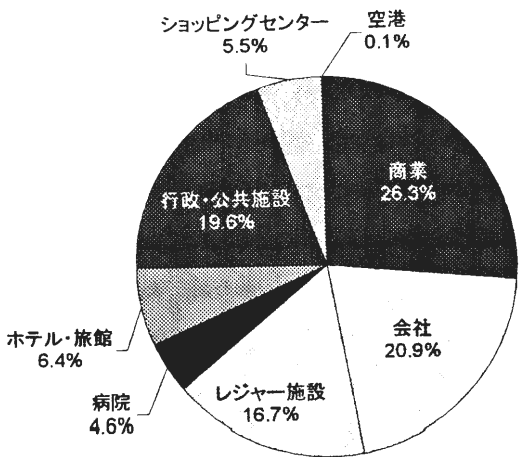


図 4-4 推計したわが国における充電ステーションの設置施設割合

都道府県別に見ると、都市部である東京都が最も多く約 1,300 箇所、次に愛知県約 900 箇所、大阪府 900 箇所、神奈川県 870 箇所、北海道 700 箇所と続く。

各種充電機器の製造段階および設置段階における環境負荷量は CO₂ に関して、一台当たり充電スタンドから約 0.28t-C、蓄電池から 2.59t-C、また充電器は 0.53kg-C を誘発する。実際には 1 充電ステーションに対し充電スタンドは複数台必要であるから、ここで 1 ステーション当たり表 4-3 から 3 台の充電スタンドが必要とすると、1 施設に対し蓄電池を併設する場合、3.97t-C の CO₂ の発生となる。また同時に NO_x を 16kg、SO_x を 15kg 誘発する計算となった。一方、蓄電池を設置しない場合は、1.38t-C、NO_x を 6kg、SO_x を 5kg 発生する。

設置場所によって充電スタンド数は異なると考えられるが、簡略化のためここでは一つの充電ステーションに対し一律 3 台の充電スタンドが必要であると仮定すると、式(4-1)のように市区別に充電ステーションの生産段階における環境負荷量 E^{prod} に輸送段階での往復分排出量 E^{trans} を加えたものに、

設置対象箇所数 N を乗算したものが、充電ステーションを建造する場合の包括的環境負荷量 E となる。ただし、 j は都道府県、 k は j 内の市区を表す。

$$E = \sum_j \sum_k N_{j,k} (E_{j,k}^{prod} + E_{j,k}^{trans}) \quad (4-1)$$

包括的環境負荷量 E は蓄電池併設時では、CO₂ が約 60kt-C、NO_x が 273t、SO_x が 224t と推定された。また、蓄電池を設置しない場合は CO₂ が約 21kt-C、NO_x が 126t、SO_x が 87t となった。

本研究で推計した充電ステーション設置対象数の地理的妥当性を確認する指標として、 N を設置対象箇所数、 S を可住地面積とし、平均設置間隔 d を式(4-2)のように定義すると、東京都が約 1.1km、神奈川県、大阪府が共に 1.3km となっている。また最も大きい青森県でも 3.4km となっている。現在のロサンゼルス市は同様に計算すると約 5.2km であるから、約 0.2 から 0.7 倍の設置間隔となり、現在の EV の性能で対応可能な距離と考えられる。

$$d = 2\sqrt{\frac{S}{\pi N}} \quad (4-2)$$

4.7.1 EV のライフサイクルへの寄与

ここで、充電ステーション設置に際し排出される包括的環境負荷量 E は EV 一台あたりに換算すると、どれほどの割り当て量となるかを検討する。充電ステーションは全体的なシステムとして機能するインフラストラクチャーであることから、現在のガソリンスタンドとガソリン自動車との関係を応用し、次のような簡便な手法を採用した。

本研究ではガソリンスタンドがガソリン自動車社会を支えるインフラストラクチャーとして、過不足なく機能していることを前提とする。まず、地域別に 1 つのガソリンスタンドにガソリン乗用車給油用に何基の給油スタンド(最近では 1 つの給油スタンドで数台が給油可能であるため、厳密には給油ノズル)が必要であるかを推算した。

「自動車統計」²⁴⁾の地域別車種別燃料使用量と地域別ガソリン販売量およびスタンド数²⁵⁾から 1 つのガソリンスタンドにおける 1 日当たりの乗用車用ガソリン販売量を求めた。次に、実際にガソリンスタンド施工計画で利用されている式(4-3)のような要確保給油ノズル数推量方法に従い、1 ガソリンスタンド当たりの給油ノズル数 N_g を導いた。

$$N_g = \frac{2\alpha\beta L}{l} \times \frac{t}{60} \quad (4-3)$$

ただし、 L は 1 ガソリンスタンドにおける 1 日当たりの乗用車用ガソリン販売量、 l は 1 台当たりの平均給油量(実績データより 25ℓ と設定)、 t は 1 台当たりの平均給油時間(実績データより 5 分)、 α は月間ピーク時給油台数増率、 β は総給油台数に対するピーク時 1 時間当たりの給油台数割合である。 α は 1.5、 β は 0.1 をそれぞれ用いた。得られた給油ノズル数に都道府県のガソリンスタンド数を乗算し、都道府県別の給油ノズル数を求めた。そして、地域別に登録ガソリン乗用車数を求めたノズル数で割り、1 本当たりの支持可能ガソリン乗用車数を決定した。

本研究では充電ステーションの充電スタンド数の制約(1 施設 3 基と設定)と充電時間の長さという側

面から、ガソリンスタンドとの相違を検討した。まず、先に求めた都道府県別の充電スタンド(1 スタンドに 1 コネクターを搭載)総数を、ガソリン給油ノズル相当数に変換する。充電が駐車の主たる目的でないことから、必要充電量が小さくても一定の充電スタンド占有時間を取ると考えられるため、平均充電時間を 120 分と設定した。よって、1 充電スタンド当たり 0.041 給油ノズルに相当することになる。充電スタンド換算給油ノズル数にノズル 1 本当たりの支持可能ガソリン乗用車数と利用頻度の比(ガソリンスタンドの利用頻度は 4.56 日に 1 度²⁴⁾)を掛け、これを支持可能 EV 数として扱った。仮に充電ステーションを毎日利用すると仮定すると、全国の集計値は EV 約 126,000 台となり、これはガソリン乗用車の登録台数の約 0.35% に相当する。先に求めた、充電ステーション設置に関する包括的環境負荷量 E を一台あたりに配分すると、表 4-8 に示す負荷量となる。

表 4-8 充電ステーションに関する EV 一台あたりの環境負荷量

充電ステーション設置条件	CO ₂	NO _x	SO _x
	t-C/台	kg/台	kg/台
蓄電池併設	0.45	2.06	1.77
蓄電池使用せず	0.17	1.00	0.69

4.8 利用者層別の充電パターンのモデル化

マイカーとして EV を利用する場合、基本的には深夜電力を利用した家庭での充電(ホーム充電)が主要となることが予想される。しかし、内燃機関自動車からの代替を可能にするには家庭外の充電施設の活用、すなわち非ホーム充電が不可欠であり、利用者の充電時間帯は多様化することが考えられる。家庭外での充電施設における充電時間帯の設定にはこれまで、小柳ら²⁶⁾の正規分布に従う充電時間帯の発生確率を与えたモデルや、石原ら²⁷⁾の現在設置されている充電施設における実測パターンを応用したモデルなどがある。設置場所の利用状況から家庭外での充電時間帯のモデル化を図 4-5 に示すように試みた。

まず、利用者層を自動車の主な利用目的に従い大別した。充電施設の設置場所が会社、ショッピングセンター、レジャー施設などを中心とした、充電を主たる目的とせず、他の目的で当該施設を利用する場所を想定していることから、これらの施設の利用頻度が高いと考えられる利用者層を設定した。すなわち、①通勤や営業活動等に車を利用することが主たる自動車の利用目的であり、会社の駐車場に設置されている充電施設を利用する会社員層、②ショッピングセンター、役所、病院等へ行く場合の利用を目的とし、それらに設置された充電施設を利用する主婦層、③遊園地、美術館等のレジャー施設やホテル・旅館、図書館などへの移動に主に車を使用するその他の層、に分類した。また、会社員層は通勤利用層と仕事利用層とに区別した。

次に、各利用者層が充電設備のある施設へ行く場合は、充電設備を必ず利用すると想定し、「国民生活時間調査」²⁸⁾から各利用者層が最も立ち寄る充電設備設置場所の利用状況を調査した。さらに、設置場所が利用可能な時間帯を考慮し、ある時間 x における当該施設に関する時間別利用割合

$u(x)$ を地域別に作成した。施設の利用割合と充電設備の利用割合は類似すると仮定し、式(4-4)に従い、 $u(x)$ から各層の時刻別の充電開始確率 $p(x)$ を決定した。

$$p(x) = \frac{u(x)}{\int_0^{24} u(x) dx} \quad (0 \leq x \leq 24) \quad (4-4)$$

したがって、時刻 t までに充電を始める確率(全台数を1としたEV台数) $N(t)$ は、

$$N(t) = \int_0^t p(x) dx \quad (4-5)$$

と表現することができ(図4-5-A)、充電の所要時間を t とすると、時刻 t で充電中であるEV台数 $N_c(t)$ は、

$$N_c(t) = N(t) - N(t-T) \quad (4-6)$$

と書ける(図4-5-B)。充電の供給電力を f (kW)とし、EV一台の充電による電力需要 $D(t)$ を式(4-4)のようにモデル化した(図4-5-C)。

$$D(t) = f \cdot N_c(t) \quad (4-7)$$

なお、ホーム充電については、これとは別に午後11時より行われ、その電力需要を $H(t)$ とする。 $D(t)$ は4つの利用者層を対象に、10地域別(北海道、東北、東京、中部、北陸、関西、中国、四国、九州、沖縄(九州と同様と仮定))に休日と平日の相違を反映させ、合計80パターンを作成した。

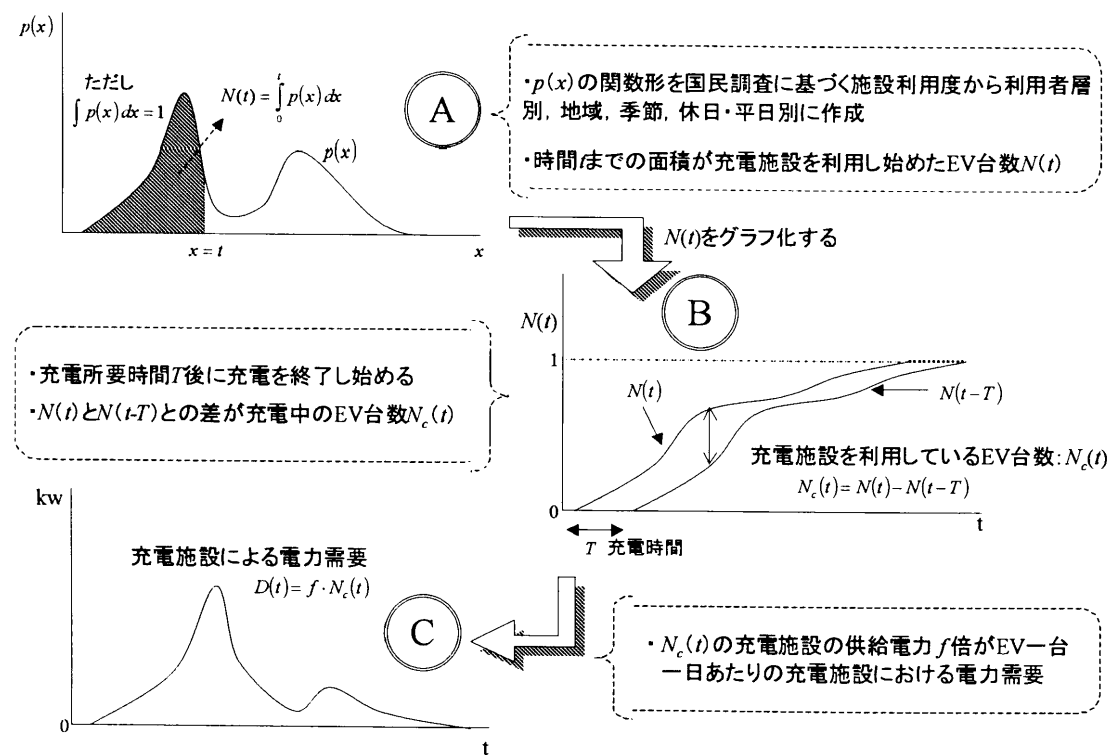


図4-5 充電施設での充電によるEV一台あたりの電力需要のモデル化概念

4.8.1 充電条件の設定

充電条件として、充電所要時間 T 、充電頻度(1週間における充電施設の利用回数)、充電施設の供給電力 f を設定する必要がある。

各利用者層の充電所要時間は次のように求めた。

従来の内燃機関自動車からEVへ移動媒体が変更されても、走行距離に大きな変化はないと考え、現在の1日あたりの平均燃料消費量(kℓ)と燃料消費率(km/kℓ)から走行距離を推定した。会社員層(通勤利用)、主婦層、その他については自家用自動車(ガソリン車)を基に、1日あたりの平均走行距離を36.75km²⁹⁾とした。また、会社員層(仕事利用)に関する走行距離は、統計表等から代表的な数値が得られなかったことから、都市部で活動する営業車の実測値³⁰⁾を基準走行距離 L_0 とし、全国市区可住面積の平均値 S および基準活動都市の可住面積 S_0 から式(4-8)に従い、平均走行距離 $L=53.45\text{km}$ と設定した。

$$L = L_0 \sqrt{\frac{S}{S_0}} \quad (4-8)$$

次に、EVの燃料消費率を0.119kWh/km、充放電効率を70%とし³¹⁾、利用者層ごとに定めた走行距離から充電電力量をそれぞれ求めた。充電施設の供給電力 f を南カリフォルニア州の例⁸⁾を参考にわが国の規格を考慮し、12kW(200V, 60A)とし、充電所要時間 T を定めた。

充電頻度については、各利用者層が平日および休日(土曜日を含む)にそれぞれ、何度充電施設を利用するかを統計調査結果²⁸⁾から当てはめ、月ごとにその回数を決定した。

先にも述べたか、EVの大規模な普及を目的とする、南カリフォルニア州の例では、設置費用等を行政側が支援することにより充電施設の積極的な設置を行っている。さらに、設置後3年間は充電費用を充電施設の所有者側に負担させている。これは、EV利用者に充電施設の利用を推奨することにより、1充電あたりの走行距離が短いという、現在のEVの欠点を補い、EVの購入を後押しすることを狙っている。また、充電施設の所有者は、充電費用を自己負担し、EV利用者に対し無料化することが集客要因として機能することを期待している。こうした先行事例から、本研究ではEVの利用者にとって充電施設での充電が無料または、ホーム充電の充電費用より割安であると仮定し、充電施設利用日にはホーム充電はされず、ホーム充電は深夜時間帯のみ、午後11時より1.5kW(100V, 15A)⁸⁾の電力で行うとした。また充電時の電力を送電端の電力に換算するために地域別の送配電損失率³²⁾を考慮した。

以下、利用者層別に充電頻度と非ホーム充電及びホーム充電との関係をまとめる。

(1) 会社員(通勤)

平日は通勤後、会社等の駐車場にある充電施設で充電し、休日は、ホーム充電を行う。

(2) 会社員(仕事)

仕事に利用するEVは充電施設のみで行われるが、会社駐車場などに設置されている充電施設における充電は他と異なり、充電費用の負担が設置者、すなわち会社側へ掛かることから、電力料金の比較的安価な深夜時間帯へ傾斜すると想定した。すなわち、平日の1日あたりの必要充電量を2回

に分け、昼夜でそれぞれ充電する。休日は充電を行わない。

(3)主婦(買物)、その他(レジャー等)

それぞれの施設利用率から1週間の平日、休日別の利用日数を決め、利用した日は、当該施設にて充電を行う。それ以外の日はホーム充電を行う。

表4-9に充電条件をまとめ、図4-6に関西地域の平日における利用者層別の非ホーム充電による電力需要を示す。

表4-9 EV 利用者層別充電条件

充電条件項目	会社員層	会社員層	主婦層	その他の層
	(通勤)	(仕事)	(買い物等)	(レジャー等)
走行距離(km/日)	36.75	53.45	36.75	36.75
充電電力量(kWh/日)	6.25	9.09 ^{*)}	6.25	6.25
充電所要時間(時間/日)	0.52	0.38	0.52	0.52
充電施設利用頻度(回/週間)	5	5	3.37	2.58
ホーム充電頻度(回/週間)	2	5 ^{**)}	3.63	4.42
ホーム充電所要時間(時間/日)	4.17	3.03 ^{***)}	4.17	4.17

*) 昼間と深夜時間帯に分けて充電を行う
**) 充電施設での深夜時間帯における充電頻度
***) 会社員層(仕事)は深夜時間帯における所要時間

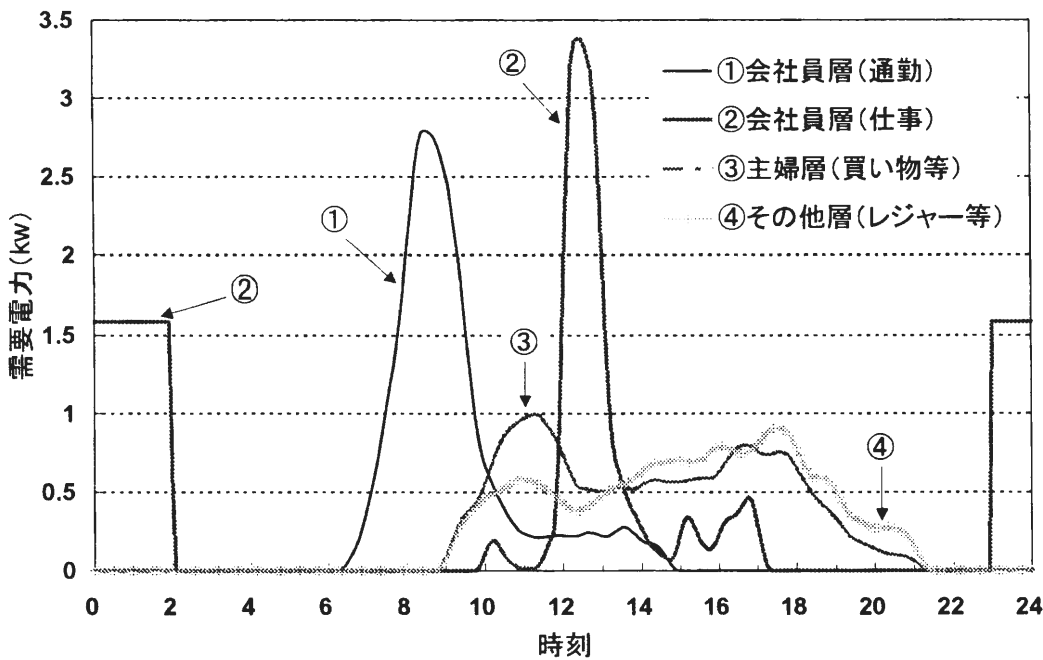


図4-6 関西地域(平日)における利用者層別の非ホーム充電による電力需要

4.9 充電時の排出強度の算出

充電時の排出強度は、充電を行う地域、季節、曜日、時間帯に応じて異なるため、次のように充電時の排出強度 $e(t)$ を求めた。地域は電力会社の供給域ごとに考慮し、充電施設利用者層の地域区分

と同一とするため、本研究の地域名は表4-10のような都道府県に該当するものとした。また季節は春夏秋冬をそれぞれ反映させた。

表4-10 地域名と該当する都道府県の対応表

地域名	該当する都道府県
①北海道地域	北海道
②東北地域	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島, 新潟
③東京地域	茨城, 栃木, 群馬, 埼玉, 千葉, 東京, 神奈川, 山梨
④中部地域	長野, 岐阜, 静岡, 愛知, 三重
⑤北陸地域	富山, 石川, 福井
⑥関西地域	滋賀, 京都, 大阪, 奈良, 兵庫, 和歌山
⑦中国地域	鳥取, 島根, 岡山, 広島, 山口
⑧四国地域	徳島, 香川, 愛媛, 高知
⑨九州地域	福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分, 宮城, 鹿児島
⑩沖縄地域	沖縄

まず、地域ごとに季節別、休日・平日別、時間別の電源構成別負荷曲線(送電端)をヒアリング及び統計表³²⁾に基づき詳細に調査した。これに基づき各発電プラント(石炭火力、石油火力、LNG火力、水力、原子力等)に応じた燃料消費に伴う排出量に加え、発電設備の建設、維持等による排出量を含む各種排出係数を負荷曲線にそれぞれ乗算した。設備建設、運用等に関する排出量は、内山ら³³⁻³⁴⁾の方法に基づき、文献値³⁵⁾の係数を用いて算出した。さらに、それらを時間ごとの総電力需要と単位時間で割り戻し、充電時の排出強度(環境負荷量/kWh) $e(t)$ を決定した。

なお、本研究の充電時の排出強度 $e(t)$ は共同火力等からの融通電力に関する排出量を含んでいないため、発電に関する本来の排出係数とは若干異なる。

電力需要は、同じ季節でも気温に左右され、また発電施設の定期検査等により、需給状況は変動する。本来ならこのような要因も考慮することが望ましいが、データ収集の制約などから、その作業は非常に困難である。したがって、本研究では各地域について、季節、平日・休日を代表する特定日の8種の電力需要を基に排出強度を算出した。

4.9.1 排出強度の地域・時間的変動要因

今回得られた排出強度 $e(t)$ のうち、夏季平日におけるCO₂、NO_xおよびSO_x排出強度をそれぞれ図4-7~4-9に示す(地域番号は表4-10と同じ)。また、表4-11に各発電プラントの設備建設、運用等に関する負荷量を、表4-12に表4-11の負荷量を含む地域別季節別にみた充電時の排出強度の平均値(平日の排出強度を5、休日の排出強度を2とした加重平均)を記す。

各地域の電源構成の違いや使用する燃料種、さらに発電設備の運用状況の違いにより環境負荷物質の排出強度の地域差が大きいことがわかった。CO₂について本研究で得られた排出強度を年間平均値と比較すると、文献値³³⁾とほぼ同程度であることが確認できた。地域別に見ると、火力発電のみの運用である沖縄地域や発電構成の中で火力発電の割合が大きい中国地域については排出強度が他より大きくなっている。また、東北地域では他社融通分の割合が高く、それらが主として火力発電による供給であることから排出強度を押し上げた結果となった。排出強度の地域格差は最大で約

3.6 倍にも及び、沖縄地域を除いても約 2.4 倍もの開きがある。

時間的な変化を見ると、関西地域や東京地域のように原子力発電の割合が年間の発電量のうち、それぞれ 52%、46% (1998 年値) を占めるところでは深夜帯に排出強度が小さくなる。関西地域では時刻によって最大 1.7 倍の格差が生じ、深夜の充電が CO_2 の排出抑制に貢献する可能性を確認できた。また、四国地域では原子力発電の割合が 45% と高い上に、夜間における電力需要が少ないため、その時間帯の火力発電の割合が非常に小さくなり、排出強度の最大値と最小値に約 2.3 倍の違いがみられる。また、水力発電の割合が 28% と高い北陸地域についても同様に時刻による差が現れている。しかし、中国、東北、中部、北海道地域等では、時間的変動は小さく、特に沖縄地域のように、夜間に石炭火力の割合が高くなるところでは、深夜の充電が排出抑制に必ずしも結びつくものではないことが示唆される。

NO_x や SO_x の排出強度も CO_2 と同様、地域ごとの火力、原子力等の発電構成比の相違はもちろん、加えて燃料種の相違 (LNG などの使用状況) や脱硫、脱硝装置の設置状況の違いから、地域、時間ごとに異なる結果を得た。 NO_x 排出強度の地域差は沖縄地域を含めれば最大 5.8 倍、除いても 4.6 倍あり、 SO_x についてはそれぞれ 20.3 倍、7.3 倍もの違いがある。沖縄地域が大きいのは火力発電のみで運用されていることが原因である。北海道および四国地域では LNG 火力がないこと、北海道地域では硫黄分の多い国内炭の消費割合が高いために、 SO_x 排出強度が他と比較し大きくなっている。時刻による変動は四国地域が最も大きく NO_x 、 SO_x とともに 2.4 倍となっている。

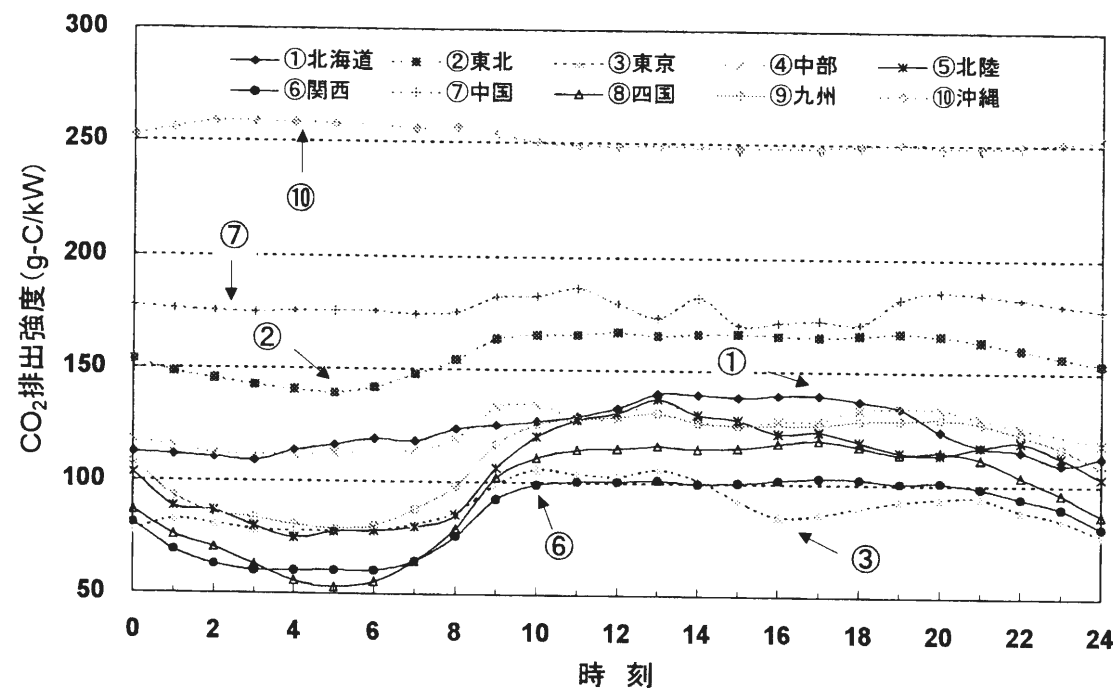


図 4-7 夏季(平日)における充電時の CO_2 排出強度の地域間比較

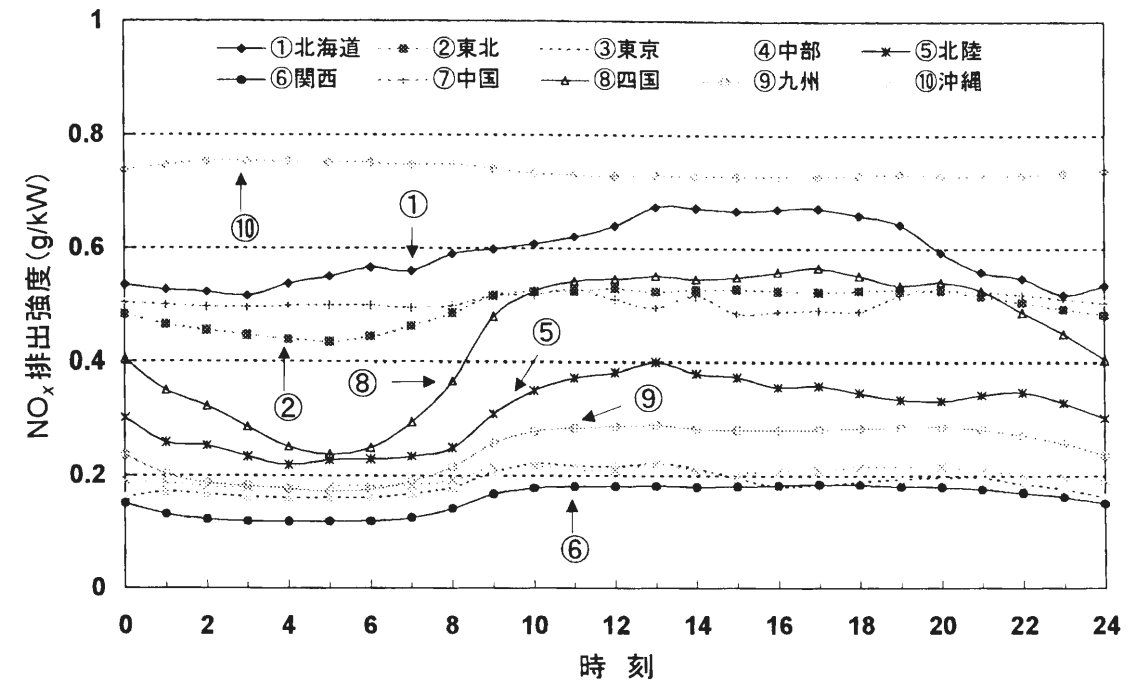


図 4-8 夏季(平日)における充電時の NO_x 排出強度の地域間比較

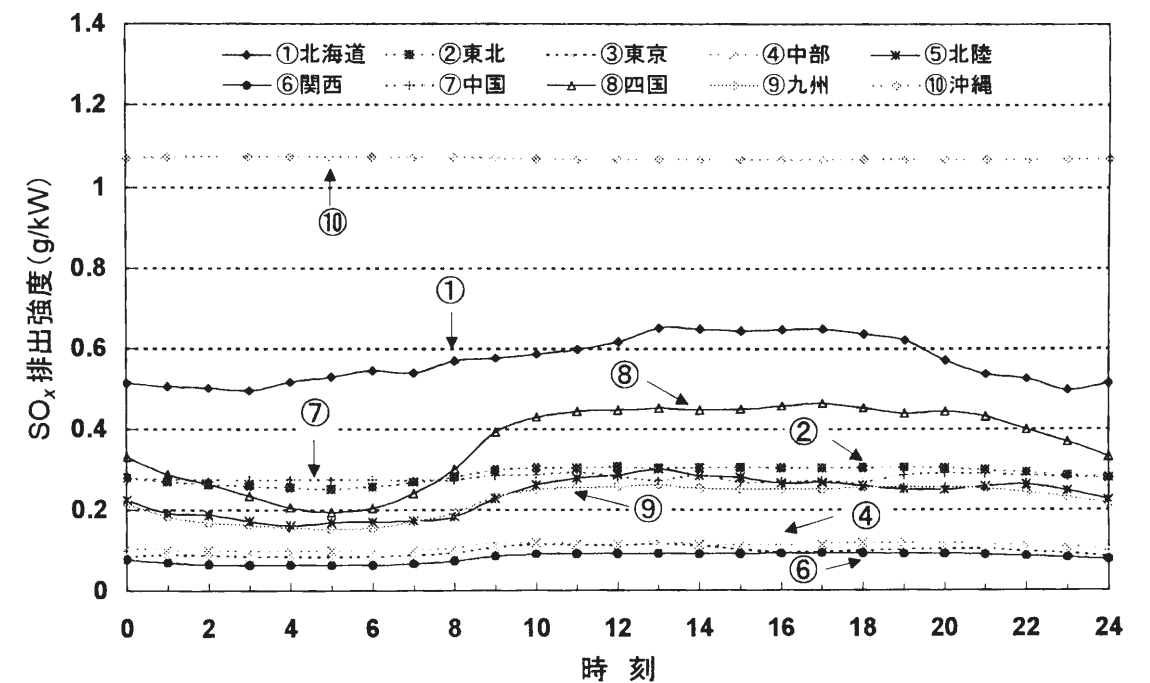


図 4-9 夏季(平日)における充電時の SO_x 排出強度の地域間比較

表 4-11 各発電プラントの設備建設・運用等に関する環境負荷係数

環境負荷項目	石炭火力	石油火力	LNG火力	原子力	水力
CO ₂ (g-C/kWh)	25.9	12.1	41.1	5.6	4.7
NO _x (g/kWh)	0.47	0.20	0.07	0.002	0.03
SO _x (g/kWh)	0.21	0.08	0.02	0.001	0.01

表 4-12 地域・季節別の充電に関する排出強度

季節	排出強度 (g-C, g/kWh)*	地域名									
		北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄
春季	CO ₂	109.6	136.9	82.8	101.5	105.7	66.7	159.1	64.5	80.2	265.5
	NO _x	0.52	0.42	0.17	0.16	0.31	0.12	0.44	0.30	0.18	0.77
	SO _x	0.59	0.32	0.12	0.14	0.32	0.08	0.33	0.29	0.18	1.86
夏季	CO ₂	121.4	155.3	87.1	120.0	100.4	81.1	176.7	88.0	109.6	253.0
	NO _x	0.57	0.49	0.18	0.19	0.29	0.15	0.50	0.41	0.24	0.74
	SO _x	0.65	0.38	0.13	0.17	0.30	0.10	0.38	0.41	0.26	1.84
秋季	CO ₂	136.3	147.5	91.9	99.4	116.8	65.9	167.2	76.7	86.2	254.8
	NO _x	0.64	0.47	0.19	0.16	0.34	0.13	0.47	0.36	0.19	0.74
	SO _x	0.71	0.36	0.14	0.14	0.36	0.09	0.36	0.35	0.20	1.84
冬季	CO ₂	134.2	148.6	95.0	130.9	148.0	76.0	179.1	126.3	118.5	257.8
	NO _x	0.63	0.46	0.20	0.21	0.43	0.13	0.51	0.59	0.26	0.75
	SO _x	0.71	0.35	0.14	0.18	0.46	0.09	0.40	0.59	0.28	1.85
年平均	CO ₂	125.4	147.1	89.2	113.0	117.7	72.4	170.5	88.9	98.6	257.8
	NO _x	0.59	0.46	0.18	0.18	0.34	0.13	0.48	0.41	0.22	0.75
	SO _x	0.66	0.35	0.13	0.16	0.36	0.09	0.37	0.41	0.23	1.85

*) CO₂はg-C/kWh, NO_x, SO_xはg/kWh

4.10 利用者層別の充電段階排出量

利用者層別に決定した非ホーム充電、ホーム充電に関する電力需要 $D(t)$ 、 $H(t)$ と排出強度 $e(t)$ から、1日あたりの充電施設での充電による環境負荷量 E_s およびホーム充電による負荷量 E_h をそれぞれ次のように算出した。

$$E_s = \int_0^{24} D(t) e(t) dt \tag{4-9}$$

$$E_h = \int_0^{24} H(t) e(t) dt \tag{4-10}$$

関西地域を例に表 4-9 に示した充電頻度等の条件に従い、各利用者層が 10 万 km 走行した場合の CO₂ 排出量を求めると、仕事利用の会社員層が約 1.4t-C と最も高く、夕刻の充電時間帯の利用が比較的多いレジャー等に利用する、その他の層が最も小さく 1.2t-C となった。燃料消費率と生涯走行距離が同一であっても充電形態によって負荷量に CO₂ で 15%、NO_x で 15%、SO_x では 13% の違いが生じた。

4.11 LCI 分析結果の地域別比較

EV の充電段階(走行段階)における排出量に車体製造、充電施設(蓄電池なし)の整備および廃棄による排出量を付加させた、地域別 LCI 分析の結果を図 4-10～4-12 に示す。ここで、走行段階における排出量は、地域毎に各利用者層の排出量を算術平均した値(利用者層の普及割合が同じ)である。また、ガソリン自動車(図中、GV と表記)の負荷量は EV とのライフサイクル範囲を同一にするため、燃料の採掘、運搬に関する負荷を加味した値である。

EV のライフサイクル CO₂ 排出量は全国平均で 3.6t-C であった。しかし、地域別に見ると全国平均を基準として CO₂ 排出量は約 72%～165% とばらついている。このうち、排出量が最も少ない地域は関西地域で、2.6t-C となった。一方、火力発電のみの沖縄地域は最も排出量が大きく、5.9t-C であるが、火力発電以外を持つ地域の中でも、単位発電あたりの火力発電(融通電力の火力を含む)の割合が高い、中国、東北地域では比較的排出量が多い。また、ガソリン自動車の排出量 9.3t-C に対し、EV の排出量は 28%～64% 程度に収まっていることが確認できた。

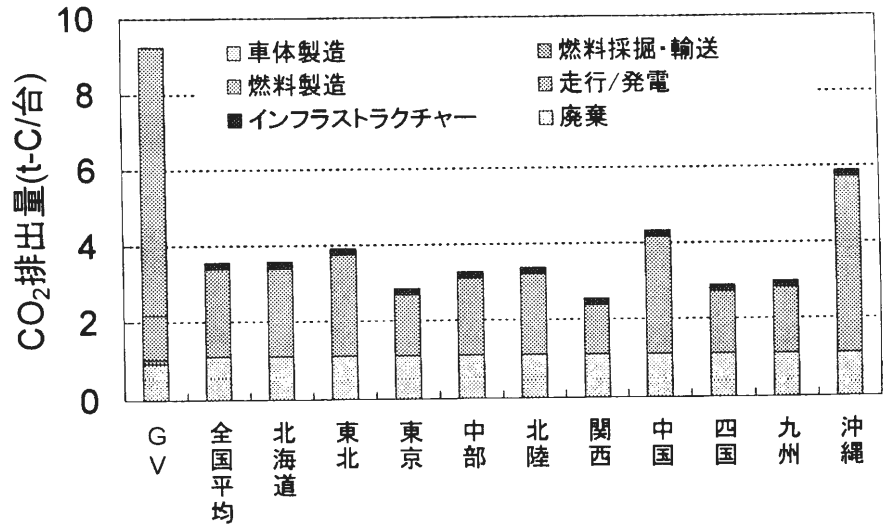
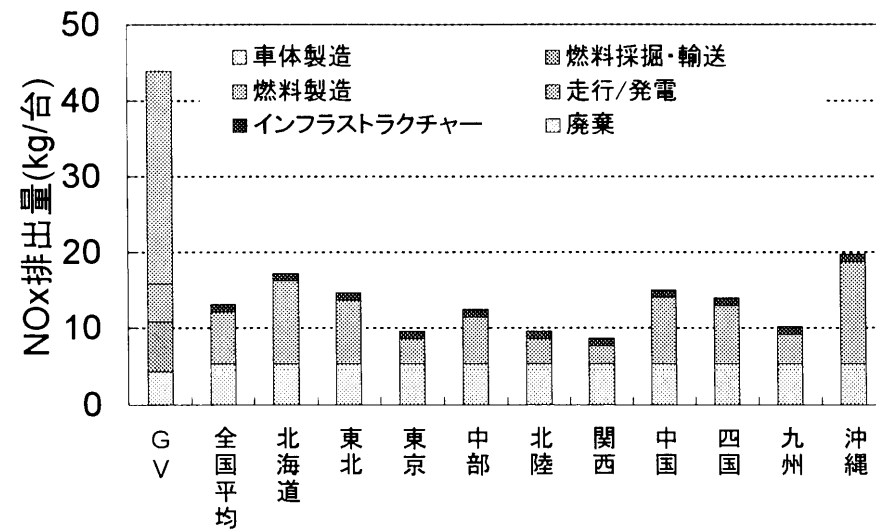
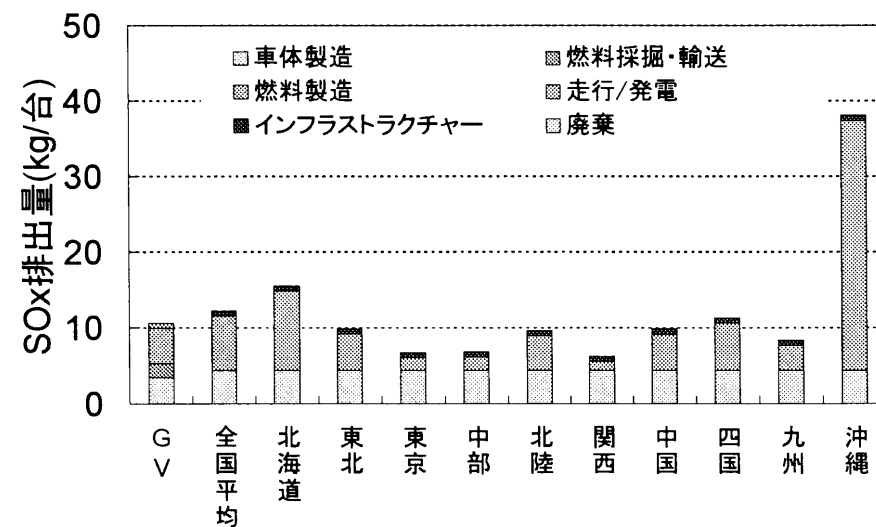


図 4-10 EV と GV のライフサイクル CO₂ 排出量の地域間比較

次に、NO_x の排出量であるが、全国平均で 13.1kg となった。地域的な差は CO₂ よりも大きく、排出量の少ない関西地域から最も大きい沖縄地域までで、全国平均に対し 66%～151% の違いが確認できた。CO₂ では中国、東北地域において高負荷であったが、NO_x では沖縄地域に続き、北海道地域の排出量が高くなった。北海道地域は中国、東北地域と比較し、年間ベースでの火力発電による供給割合は低い、表 4-12 からわかるように単位電力あたりの排出量が多い。このことは、充電時間帯モデルに大きな違いがないことを考慮すると、LNG 火力がなく、石炭系燃料の使用割合が高いことや、脱硝装置などの設置状況の相違が、排出量に影響を与えていると推測できる。ガソリン自動車のライフサイクル排出量 43.9kg と比較すると、EV は 8.6kg～19.8kg と約 20%～45% の排出量にとどまる。

図 4-11 EV と GV のライフサイクル NO_x 排出量の地域間比較

SO_x排出量が多い地域は沖縄に続き、北海道、四国地域となった。四国地域も硫黄分を含まない LNG 火力がなく、単位発電量あたりの排出量が高い原因の1つとなっている。全国平均で EV からの排出量は 12.2kg で、地域別では 51%～312%の違いを生じた。その傾向は NO_x の場合と類似しているが、沖縄地域での相対的な増加が著しい。もとより、ガソリン自動車は SO_x の排出量は 10.6kg と極めて小さく、地域によっては EV への代替が SO_x 排出量の増加につながる可能性があることが示唆される。SO_x についてはガソリン自動車よりもディーゼル自動車の方が排出量は高く、約 5.6 倍にも上る。したがって、ディーゼル車から EV への代替を考えた場合、11%～64%の排出量に収まる。

図 4-12 EV と GV のライフサイクル SO_x 排出量の地域間比較

4.12 蓄電池を用いた深夜電力の利用による負荷低減

EV の充電に関して、深夜電力の利用は電力負荷の平準化へ有効に機能することが報告されているが²⁷⁾、ここでは深夜電力の利用による大気環境負荷低減効果の観点から検討した。充電形態はこれまでの仮定と同様とし、非ホーム充電における供給電力に深夜電力を用いるとする。すなわち、現在、わが国の充電施設で行われているように充電施設に蓄電池を設置し、深夜に蓄電された電力を日中に供給する方法である。

蓄電池を利用した深夜電力利用充電と通常の充電による排出量の比を、走行段階(充電)およびライフサイクルで比較した結果を、それぞれ図 4-13 に示す。走行段階における排出量は夜間に石炭火力による発電割合が高くなる沖縄地域以外では減少し、北陸、関西地域においては約 80%に低下する。また、他の環境負荷物質についても同程度の減少が期待できる。

一方、ライフサイクルでの評価はインフラ整備、特に蓄電池に関わる排出量が増加するため、走行段階における排出量の低下を相殺する地域もある。しかし、この結果はインフラの形態や EV 一台あたりへの割り当て方法に依存するため、結果の解釈には慎重を要する。

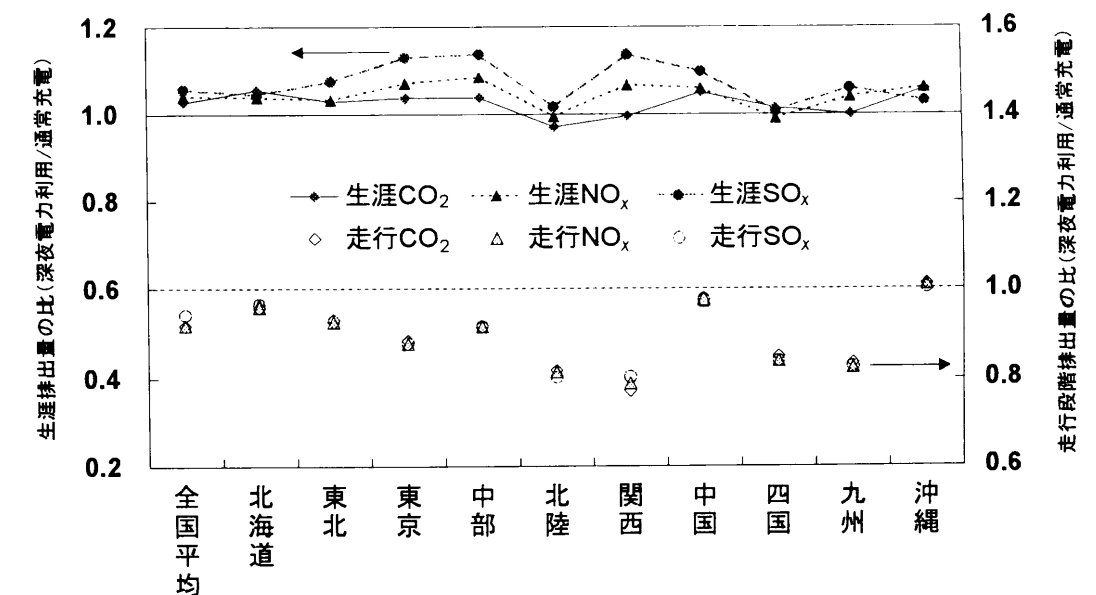


図 4-13 蓄電池を利用した充電形態と利用しない場合との EV に関する環境負荷量の違い

4.13 EV の普及による環境負荷への影響

EV の普及に伴う新規電力需要の増加は、新たな発電施設の増設(設置)を必要とし、時間毎の充電に関する排出強度が変化することが考えられる。すなわち、EV の走行段階における環境負荷量が普及台数に応じて増減し、これまで示した大気環境負荷に関するガソリン車に対する優位性に影響を

及ぼすことが予想される。そこで、EV の普及により期待される CO₂ 等の排出抑制量を評価する際、上述のような排出係数の経年変化を次のように想定し、地域別に算出を行った。

本章で仮定した図 4-6 のような充電時間帯において、地域 i の y 年後における EV の普及台数 $T_i(y)$ の充電に必要な電力需要を一般の電力需要に加え、供給電力を選択し、誘発する排出量を再度算出した。 $T_i(y)$ は式 (4-11) に従うものとし ($\alpha=0.3$, $b=350$)、30 年後の地域別普及台数 f_i を近年の登録台数の増加率を参考に定めた^{15),36)}。

$$T_i(y) = \frac{f_i}{1 + be^{-\alpha y}} \quad (4-11)$$

次に、発電量の総和でその排出量を割戻し、充電に関する排出強度 $e(t)$ を新たに決定した。さらに、式 (4-9)、式 (4-10) と同様に充電による排出量を求め、表 4-9 の充電条件から普及台数に応じて変化する走行段階(充電)における年間の排出量 $O_i(y)$ を定めた。

さらに、ガソリン車から EV への転換により期待される、排出抑制量 $R_i(y)$ を式 (4-12) のように推計した。式 (4-12) の①は EV の走行による排出量、②は生産、インフラ、廃棄による排出量、③はガソリン車が普及していた場合の走行による排出量、④は GV の生産、廃棄による負荷量を示す。計算手順の概要を図 4-14 にまとめる。

$$R_i(y) = \underbrace{T_i(y)O_i(y)}_{\text{①}} + \underbrace{\{T_i(y) - T_i(y-1)\}(e_p + e_s + g_w) + e_w T_i(y-a)}_{\text{②}} - \underbrace{T_i(y)g_d}_{\text{③}} - \underbrace{\{T_i(y) - T_i(y-1)\}(g_p + g_f)}_{\text{④}} \quad (4-12)$$

ただし、

e_p : EV の生産による排出量

e_s : EV のインフラ整備による排出量

e_w : EV の廃棄による排出量(10 万 km 走行後)

g_p : GV 車の生産による排出量

g_d : GV 車の走行による排出量

g_f : GV 車の燃料製造による排出量

g_w : GV 車の廃棄による排出量

a : EV が 10 万 km 走行を完了する年数 ($\alpha=7.5$)

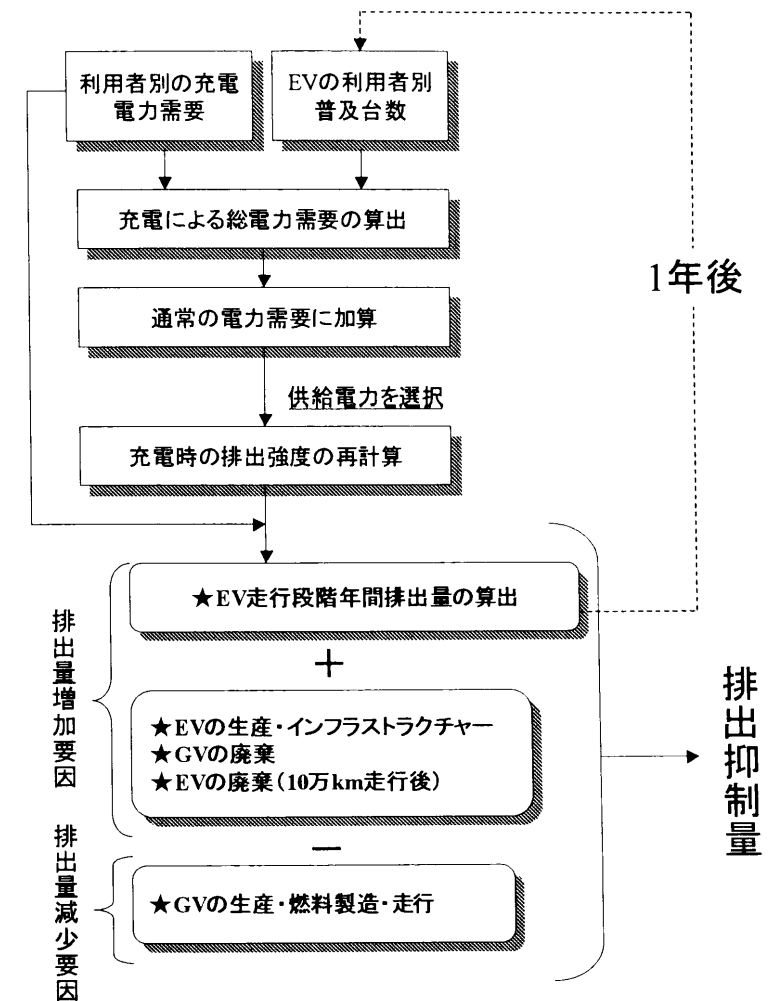


図 4-14 EV の普及による環境負荷量変化の推計方法

充電による電力需要を火力発電によって供給する場合の CO₂ に関する走行段階(充電)排出量 $O_i(y)$ を初年の値を 1 とした増加率で図 4-15 に示す。乗用車に対し 50% の普及率となった場合、四国地域などではおおよそ 2 割程度、充電による年間排出量が増加する可能性が考えられる。この変化を反映した排出抑制量 $R_i(y)$ を CO₂ および NO_x に関して図 4-16～4-17 にそれぞれ示す。

普及台数の大きさから東京地域での CO₂ 排出抑制量が大きくなっているが、九州地域と東北地域のように普及台数は約 3% ほどの違いであるのに対し、その効果は約 16% に拡大する地域も見られた。NO_x についても CO₂ と同様な傾向を示した。

こうした CO₂ や NO_x の排出抑制効果の一方で、図 4-18 に示すように北海道、沖縄では SO_x の排出量が僅かながらも増加し、抑制効果は認められない。また、EV は車体製造段階における排出量がガソリン車よりも多いため、走行段階になって SO_x 排出抑制効果が現れる。したがって、普及割合が約 20% 以下では EV 生産の負荷が走行による効果を相殺するため、すべての地域でガソリン車よりもライフサイクル排出量が増加する。

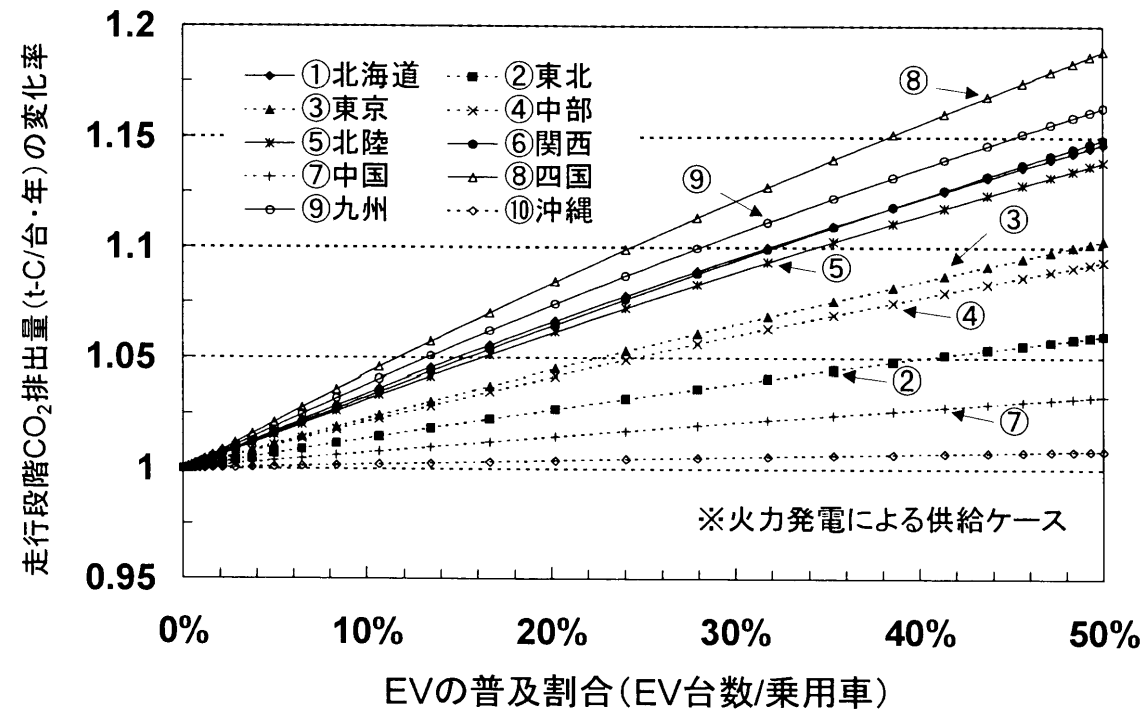


図 4-15 EV の普及割合と走行段階における年間 CO₂ 排出量の変化

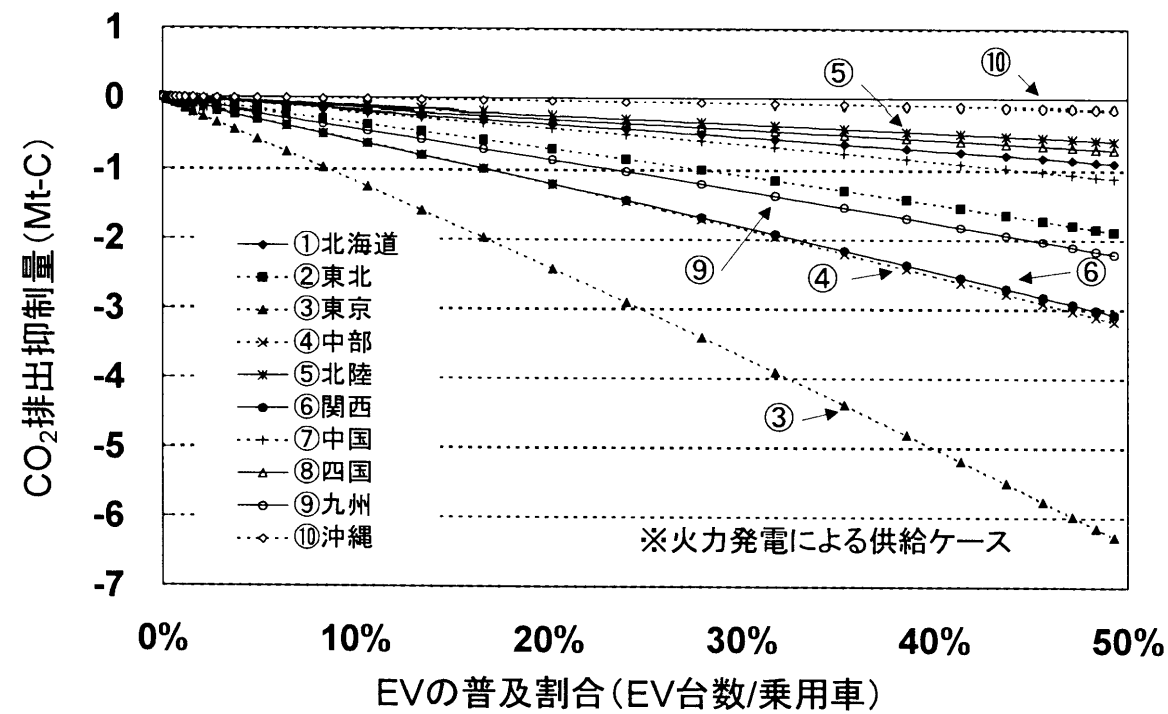


図 4-16 EV の普及割合と CO₂ 排出抑制量との関係

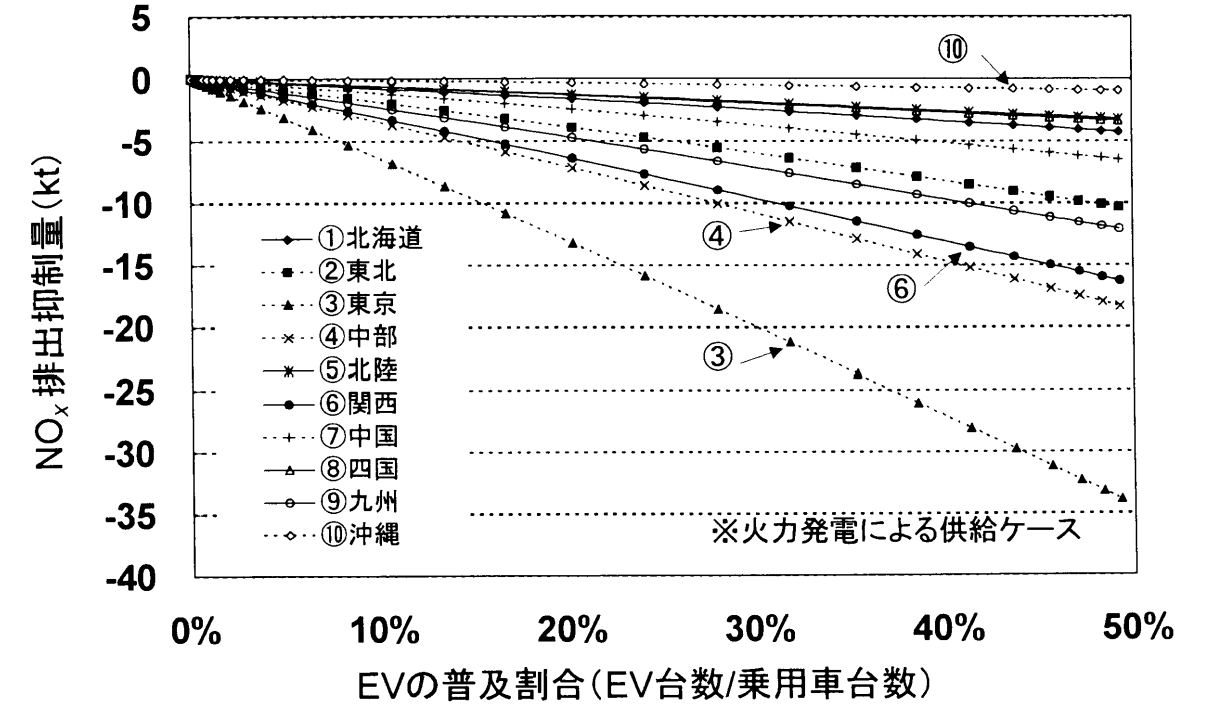


図 4-17 EV の普及割合と NO_x 排出抑制量との関係

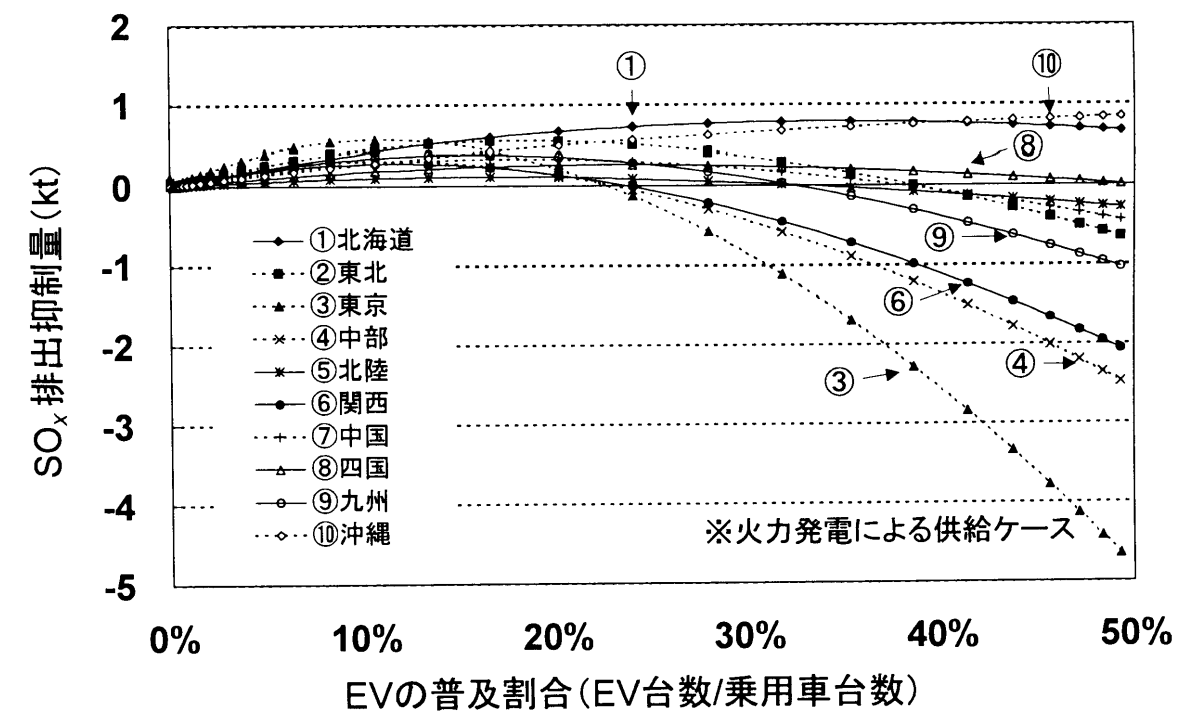


図 4-18 EV の普及割合と SO_x 排出抑制量との関係

4.14 まとめ

本章において得られた結果を以下にまとめる。

- ・鉛蓄電池を搭載したGVからのコンバート車をモデルとしたEVの車体製造に関する環境負荷量はCO₂が1.09t-C, NO_xが5.28kg, SO_xが4.33kgであった。
- ・南カリフォルニア州で行われているEV普及プログラムをモデルとして, EVを普及させるインフラストラクチャーとして機能する, わが国における充電ステーションの設置場所を選定し, 充電ステーション設置に付随する環境負荷量を計算した。
- ・充電ステーションに蓄電池を設置する場合, EV一台あたりに換算すると, CO₂が0.45t-C/台, NO_xが2.06kg/台, SO_xが1.77kg/台の排出量が推定された。蓄電池を設置しない場合は, CO₂が0.17t-C/台, NO_xが1.00kg/台, SO_xが0.69kg/台であった。
- ・EVの充電による一日の電力需要を4種の利用者層別に10地域・季節・平日休日別にモデル化した。
- ・充電に関する時間別の電力部門のライフサイクル(廃棄を除く)排出強度(排出量/kW)を10地域・季節・平日休日別に求めた。
- ・EVのライフサイクルCO₂排出量は全国平均で3.6t-C/台であり, EVを使用する地域によって全国平均を基準として約72%~165%の違いがある。同様に, NO_xは13.1kg/台で66%~151%の違いがあり, SO_xは12.2kg/台で51%~312%の相違を生じた。
- ・蓄電池を充電ステーションに設置し, 深夜電力による蓄電によって日中供給した場合, 沖縄地域以外では充電(走行段階)における排出量は減少する。一方, ライフサイクルで評価すると蓄電池の生産・設置段階での排出量が増加し, 充電時の減少分を相殺する地域もあった。
- ・EVをGVの代替として全国的に普及させた場合, 乗用車起源によるCO₂およびNO_x排出量は減少するが, SO_xに関しては乗用車登録台数の約20%以上の普及率に達するまでは排出量が増加した。

参考文献

- 1) 森口祐一, 近藤美則, 南齋規介, 東野 達(2000), 平成7年産業連関表等を用いたわが国のCO₂排出構造分析, 第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.73-78.
- 2) Newsweek 日本語版 2000年5月17日号(2000), TBSブリタニカ.
- 3) エコ・ステーション推進協会(1998), エコ・ステーションの普及に向けて.
- 4) 松橋隆治, 石谷 久, 管 幹雄, 吉岡完治(1998), ガソリン自動車と電気自動車のライフサイクルアセスメント, 日本エネルギー学会誌, 77, 1184-1192.
- 5) 西村一彦, 本藤祐樹, 内山洋司(1998), プロセスモデルによる製品製造時の包括負荷量の比較分析ーガソリン車とEVの比較, エネルギー・資源, 19, 73-78.
- 6) The Planning Center(1998), EV Charge Strategic Plan.
- 7) 岩井信夫(1998), 自動車の省エネルギー, エネルギー・資源, 19, 341-351.
- 8) <http://www.epri-icon.com/>
- 9) Los Angeles Department of Water and Power, Los Angeles is "Going Electric"
- 10) 財団法人 都市交通問題調査会(1999), 駐車場建設の手引き 99.
- 11) 財団法人 駐車場整備推進機構, 駐車場センサス(提供資料)
- 12) <http://www.evaa.org/>
- 13) 通産省大臣官房調査統計部編(1992), 平成4年商業統計表一般飲食店.
- 14) 通産省大臣官房調査統計部編(1995), 平成7年工業統計表市区町村編.
- 15) 東洋経済新報社(1999), 地域経済総覧 99.
- 16) 通産省大臣官房調査統計部編(1998), 平成8年事業所・企業統計調査報告都道府県編.
- 17) 通産省大臣官房調査統計部編(1998), 平成9年特定サービス産業実施調査報告書(遊園地・テーマパーク編).
- 18) 運輸省 運輸政策局情報管理部(1996), 航空輸送統計年報 平成7年.
- 19) 通産省大臣官房調査統計部編(1997), 平成7年石油等消費構造統計表(商鉱工業).
- 20) 横田久司, 福岡三郎, 竹永裕二, 坂西丕昌(1995), 平成元年規制適合の大型ディーゼル車の汚染物質排出実態について, 東京都環境科学研究所年報.
- 21) 環境庁企画調整局地球環境部編(1992), 地球温暖化防止対策ハンドブック4 交通編.
- 22) 環境庁大気保全局自動車公害課(1994), 実走行モードにおける自動車排出ガスの原単位について.
- 23) 社団法人自動車技術協会(1997), 1997年度版自動車諸元表.
- 24) 運輸省 運輸政策局情報管理部(1999), 自動車輸送統計年報平成9年度分.
- 25) 月刊ガソリンスタンド社(1998), ガソリンスタンド9月号.
- 26) 小柳文子, 瓜生芳久, 電気自動車による消費電力のモデル化と電力需要に与える影響(1997), 電気学会論文集 B, 117, 41-46.
- 27) 石原 薫, 七原俊也, 栗原郁夫, 西山和夫, 浦田裕行, 西野慎一(1998), 高性能電池を搭載し

- た電気自動車の普及影響評価, 電力中央研究所報告 T97514.
- 28) NHK 放送文化研究所(1996), 1995 年国民生活時間調査 報告書及びデータブック.
- 29) 運輸省運輸制作局情報管理部統計課, 自動車輸送統計年報 第33 巻 第13 号 平成7 年度分(1996)
- 30) 電力会社提供資料
- 31) 清水浩(1997), 電気自動車のすべて 第2 版, 日刊工業新聞社.
- 32) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編(1998), 平成10 年度 電力需給の概要 48, 中和印刷株式会社出版部.
- 33) 内山洋司(1995), 発電システムのライフサイクル分析, 電力中央研究所報告, Y94009.
- 34) 内山洋司, 山本博巳(1991), 発電プラントのエネルギー収支分析, 電力中央研究所報告, Y90015.
- 35) 環境庁企画調整局地球環境部編(1992), 地球温暖化防止対策ハンドブック 4 交通編, 中央法規.
- 36) 森口祐一(1997), 環境技術をめぐる最近の動向ー技術の発展の方向性と温暖化対策技術の動向ー, 環境研究, **107**, 46-54.

第5章

地域特性を考慮した LCI 分析手法の開発

5.1 本章の目的と研究方法

大気環境負荷をLCAにより評価する場合, 地域間における諸条件の相違(地域特性とよぶ)が問題となる。LCI分析の段階でさえ, 発電構成の違いにより分析結果に有意な差が生ずることが, 第4章の結果から確認された。負荷量が地域的な条件に左右される要因として発電構成の他, 交通や流通形態にも依存する。一般的に, 生産場所近郊まで鉄道が利用できる場合, 原材料の調達による負荷はトラックによる道路輸送に比べ抑えることができる。また, 原材料の調達先や製品の販売先が生産場所から近い場合も当然, 環境負荷は小さくなる。さらに, インパクトアセスメントにおいては, ますます地域的条件の考慮が重要であるとの指摘がある¹⁾。CO₂などの温室効果ガスは, 最終的な温暖化によるマラリアの被害²⁾や農作物への影響³⁾という点では地域によって違いがあるものの, 温度上昇に対する寄与は排出地点に依存しない。しかし, NO_xやSO_xなどの大気汚染物質による影響は, 我々の健康被害という点で, CO₂に比べ排出地点と暴露地点における状況との関連性は強い⁴⁾。LCAにおける地域性の取り扱いは極めて重要な課題といえる。

しかし, LCI 分析においても地域特性を考慮し排出量を推計するには, 通常の実績と比較し労力の要る作業である。第2章で触れたように, インベントリデータの活用がその負担を軽減するが, 地域特性を踏まえたインベントリデータはわが国ではまだ整備されていない。そこで, 本章では産業連関表による原単위에地域特性を反映させた地域別原単位の作成手法をCO₂を例として開発し, LCI 分析における地域別原単位独自の応用方法を示すことを目的とする。具体的には, 地域別原単位から同じ製品であっても, 生産地域によって排出量が異なることが定量的に示されることを利用し, 環境負荷

の少ない生産地域を選択することに応用する。ただし、地域の区分は都道府県単位である。

現在、いわゆる“エコプロダクツ”に対する関心の高まりが後押し、環境負荷の小さい製品の開発は企業にとって益々重要になっている。製品のコストや品質は消費者への当然の魅力であるが、環境問題が盛んに議論される今、製品の環境調和性の優劣が新たな魅力として消費者に受け入れられつつある。例えば、“グリーン購入”、“グリーン調達”と言われる活動は、商品の価値基準のこうした変化を裏付けていると言えよう。本章で示す生産地域の選択手法は、生産製品の *cradle to gate* に関する排出量が抑制される地域を示すことができるため、企業の環境負荷低減活動に貢献すると期待できる。また、本手法は簡易であるため、最終的に積み上げ法による詳細な分析により生産地域を選択する場合にも、検討に値する地域をスクリーニングする目的に用いることもできる。個々の企業の生産活動に伴う大気環境負荷の減少は、わが国全体の環境負荷の削減につながるであろう。

本章では図 5-1 に示すよう発電構成と輸送形態に関する地域特性を考慮した。理由として、①これまでの LCI 分析の事例からも電力消費と輸送は LCI における負荷寄与が比較的大きい、②地域ごとに発電構成が異なり、同じ電力消費でも環境負荷量は同一ではない、③原材料の調達先や販売市場への輸送距離や輸送手段は生産地域と大きく関係することが挙げられる。

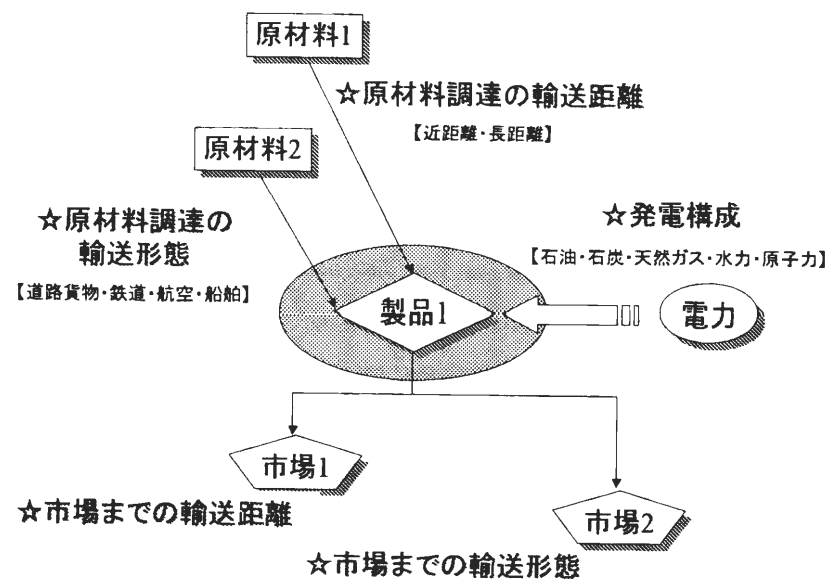


図 5-1 製品の環境負荷量に関する地域特性

地域別原単位作成の流れを図 5-2 に示す。まず、産業連関表から生産に関する投入係数、原材料の調達輸送に関する投入係数、製品の販売市場への輸送に関する投入係数を作成する。次に、各投入係数を基に、わが国の平均的な原単位（以下：標準原単位）を第 2 章における β 版の原単位をベースとして算出する。また、電力消費に伴う排出量に地域特性を反映させるため、投入係数および直接排出量に発電構成を考慮した「地域別事業用電力」部門原単位を作成し、これと生産に関する投入係数と組み合わせ、地域別の生産に関する原単位を求める。

輸送に関する地域性の反映は、投入係数の大きさに対して行う。「全国貨物純流動調査(物流センサス)」⁵⁾の結果から地域別に平均的な輸送距離と輸送手段を決定し、全国平均値に対する比率を投入係数に乗じて、地域性を反映した投入係数を作成する。そして、生産、原材料調達輸送、販売市場への輸送による排出を統合して地域別原単位を導き、生産地域の選択に関するケーススタディーを行う。

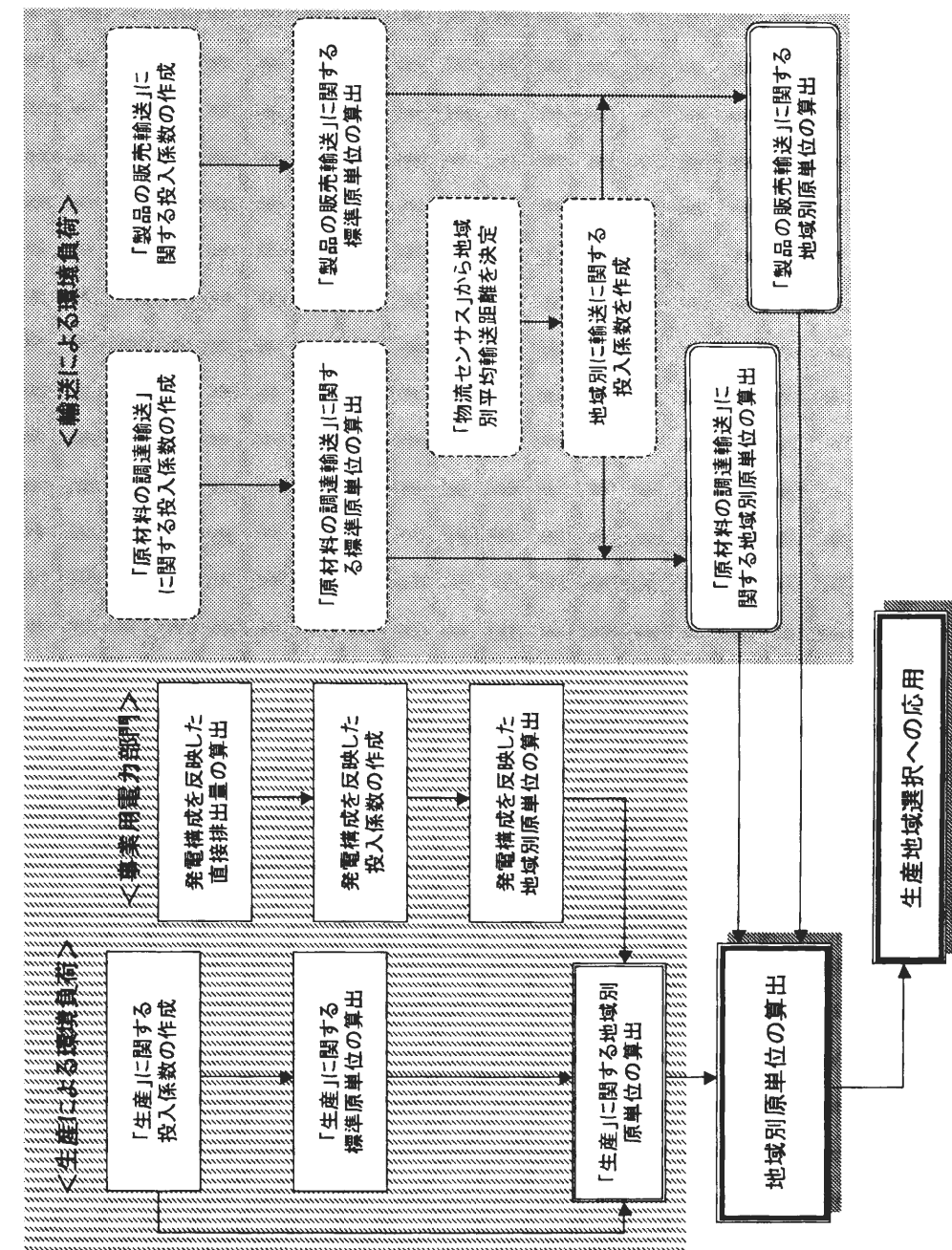


図 5-2 地域別原単位作成の流れ

5.2 地域別原単位の定義

本研究では、地域 r において生産される製品 i に関する CO₂ 排出原単位 e_i^r (t-C/百万円) を式 (5-1) のように定義した。

$$e_i^r = p_i^r + \sum_{k=1}^l (s_{k,i}^r + m_{k,i}^r) \quad (5-1)$$

ここで p_i^r は製品 i の生産により誘発された単位生産活動 (百万円) あたりの CO₂ 排出量, $s_{k,i}^r$ は製品 i に関する原材料調達において輸送機関 k の利用により誘発された単位あたりの排出量, $m_{k,i}^r$ は製品 i を販売先へ輸送する際に輸送機関 k の利用により誘発された単位あたりの排出量をそれぞれ示す。

生産地域は都道府県で区分し $r=47$ とした。考慮した輸送機関は、鉄道輸送 ($k=1$)、道路貨物輸送 ($k=2$)、沿海輸送 ($k=3$)、港湾輸送 ($k=4$)、航空輸送 ($k=5$)、貨物取扱 ($k=6$) である。

5.3 生産に関する地域別原単位

産業連関表の産出表には部門別に国内貨物運賃が記載されている。国内貨物運賃はある部門が他の部門へ製品を輸送する場合に要した金額であり、これを除いた生産額を製品の製造に関係した額とみなすことができる。行列形式で表現された取引額を通常の産業連関分析同様、各部門の国内生産額で割り、生産に関する投入係数行列 $\mathbf{A}\{a_{ij}\}$ を作成する。

次に、各部門の直接排出量と国内生産額から単位生産額 (百万円) あたりの直接排出量を求め、これらを成分とするベクトルを生産に関する直接排出量ベクトル $\mathbf{d}\{d_{ij}\}$ とし、式 (5-2) より生産に関する標準原単位ベクトル $\mathbf{p}\{p_i\}$ を導いた。

$$\mathbf{p} = \mathbf{d}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (5-2)$$

標準原単位 p_i は式 (5-3) の関係を満たすことから、電力消費に関する標準原単位を地域別原単位 p_{power}^r に置換することで、式 (5-4) のように、生産に関する地域別原単位 p_i^r を定義する。ここで、 r は地域を表し、 n は産業連関表部門数を示す。

$$p_i = \sum_{j=1}^n a_{ji} p_j + d_i \quad (5-3)$$

$$p_i^r = \sum_{j=1 \neq power}^n a_{ji} p_j + a_{power,i} p_{power}^r + d_i \quad (5-4)$$

p_i^r は生産に関する投入係数 $\{a_{ji}\}$ および単位あたりの直接排出量 d_i を全地域で同一とすることから、生産技術が地域に依存しないことを仮定している。

5.4 電力消費に関する地域別原単位

産業連関表では電力消費に関する原単位として、「事業用電力」部門、「自家発電」部門が該当する。「自家発電」部門は生産地域の特性よりもむしろ、部門固有の生産プロセスに関連するものであるから、生産地域に依存する原単位として「事業用電力」部門を対象とした。

産業連関表における事業用電力の原単位は、わが国すべての事業用電力で発生した環境負荷の年間合計値から求めており、平均的な電力構成に基づく原単位が算出される。本来は地域によって火力、原子力、水力の割合や、火力発電の種類も異なり、原単位の値は同じではない⁶⁾。ここでは表 4-10 示した 10 地域と同様に統合し、各々の発電構成を考慮した事業用電力の地域別原単位 p_{power}^r を求めた。以下に p_{power}^r の算出方法を述べる。

数学的に産業連関分析による原単位 $\mathbf{e}\{e_i\}$ は、式 (5-5) のように直接排出量 \mathbf{d} 、一次間接排出量 \mathbf{dA} 、高次間接排出量 $\mathbf{dA}^2\mathbf{B}$ に分配できる。ただし、 $\mathbf{B}\{b_{ij}\}$ はレオンチェフ逆行列である。

$$\mathbf{e} = \mathbf{d}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{d} + \mathbf{dA} + \mathbf{dA}^2\mathbf{B} \quad (5-5)$$

したがって、事業用電力に関する標準原単位 p_{power} は式 (5-6) より求められる。本研究では、地域による発電構成の違いを反映させる項を単位あたりの直接排出量および一次間接排出量とし、式 (5-7) より電力に関する地域別原単位 p_{power}^r を算出した。

$$p_{power} = d_{power} + \sum_{j=1}^n d_j a_{j,power} + \sum_{j=1}^n d_j \left\{ \sum_{q=1}^n \left(\sum_{p=1}^n a_{j,p} a_{p,q} \right) b_{q,power} \right\} \quad (5-6)$$

$$p_{power}^r = d_{power}^r + \sum_{j=1}^n d_j a_{j,power}^r + \sum_{j=1}^n d_j \left\{ \sum_{q=1}^n \left(\sum_{p=1}^n a_{j,p} a_{p,q} \right) b_{q,power} \right\} \quad (5-7)$$

5.4.1 地域別単位あたりの直接排出量

単位あたりの直接排出量 d_{power}^r は各地域で利用する電力会社の火力発電構成に応じて求めた。まず「電力需給の概要」⁷⁻⁸⁾ から燃料種別消費量を引用し、発熱量および CO₂ 排出係数を乗じて地域別の直接 CO₂ 排出量を算出した。

また、「事業用電力」部門の国内生産額を各地域へ配分するため、産業連関表の基本分類から得られる原子力、火力、水力・その他に区分された国内生産額を利用した。原子力、火力、水力・その他、それぞれの総電力供給量で国内生産額を割り、単位電力あたりの国内生産額を求めた。これを各地域における発電形態別の電力供給量に乗じて発電形態別の国内生産額を算出し、その和を地域別の事業用電力に関する国内生産額とした。この生産額で直接 CO₂ 排出量を割ることで、単位あたりの直接 CO₂ 排出量を得た。図 5-3 に算出方法の概要を示し、表 5-1 に求めた地域別単位あたりの直接 CO₂ 排出量を記す。

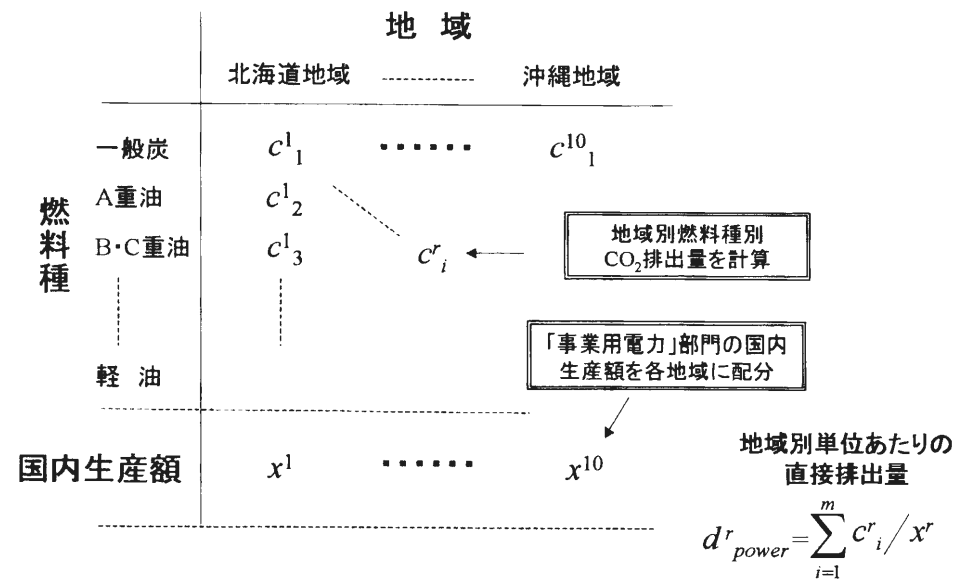


図 5-3 電力消費に関する地域別単位あたり直接 CO₂ 排出量の算出方法

表 5-1 電力消費に関する地域別単位あたりの直接 CO₂ 排出量

地域名	単位あたりの直接CO ₂ 排出量 d^r_{power} (t-C/百万円)
北海道地域	5.892
東北地域	6.196
東京地域	4.547
中部地域	6.145
北陸地域	6.453
関西地域	3.708
中国地域	7.571
四国地域	4.316
九州地域	4.529
沖縄地域	10.403
全国平均(標準値)	5.125

5.4.2 発電構成を反映した投入係数

発電構成が異なれば他部門から投入される額の大きさも異なるが、「事業用電力」部門の投入係数はわが国の平均化された発電構成に基づき形成されている。産業連関表の基本分類から、原子力、火力、水力・その他に区分された個々の投入係数を求めることができるため、本研究では先に求めた各地域における火力、水力、その他で区分した発電形態別の国内生産額をそれぞれ乗じて、新たに発電構成に応じた地域別の投入係数 $\{a'_{i,power}\}$ を作成した。

これを、式(5-7)のように一次間接排出量の算出に組み込み各地域の発電構成の違いを反映させた。ただし、高次間接負荷は平均的なプロセスを示す投入係数 $\{a_{i,power}\}$ から求めた。

5.4.3 電力に関する地域別原単位の比較

電力消費に関する地域別 CO₂ 排出原単位および直接、一次間接、高次間接の内訳を表 5-2 に示す。全国平均である標準原単位が 6.001 (t-C/百万円) であるのに対し、関西地域の 4.560 (t-C/百万円) から沖縄地域の 11.361 (t-C/百万円) までの相違があった。したがって、生産段階までのライフサイクルにおいて電力消費による CO₂ 排出量の占める割合が大きくなるにつれ、生産地域による LCI 分析結果の違いは大きくなる。

また、図 5-4 に生産段階までのライフサイクル CO₂ 排出量に占める電力起源の割合を横軸にとり、各地域における CO₂ 排出量と標準原単位による排出量の比を縦軸に示す。例えば、ライフサイクルにおいて 50% が電力起源の排出量の場合、平均値に対して約 88% から約 145% の地域的な差が生ずることがわかり、電力に関する地域特性の考慮が重要であることが確認できる。

表 5-2 電力消費に関する地域別 CO₂ 排出原単位

地域名	CO ₂ 排出原単位 t-C/百万円	直接排出 t-C/百万円	一次間接 t-C/百万円	高次間接 t-C/百万円
北海道地域	6.747	5.892	0.600	0.254
東北地域	7.089	6.196	0.639	0.254
東京地域	5.421	4.547	0.620	0.254
中部地域	7.038	6.145	0.638	0.254
北陸地域	7.322	6.453	0.615	0.254
関西地域	4.560	3.708	0.597	0.254
中国地域	8.482	7.571	0.656	0.254
四国地域	5.170	4.316	0.600	0.254
九州地域	5.397	4.529	0.614	0.254
沖縄地域	11.361	10.403	0.704	0.254
全国平均(標準値)	6.001	5.125	0.621	0.254

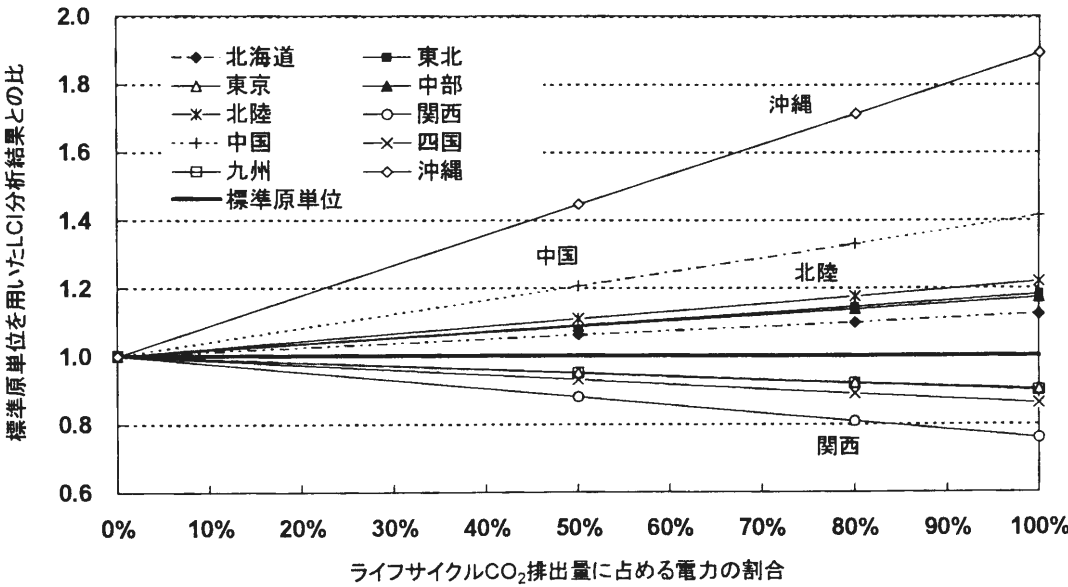


図 5-4 電力消費起源 CO₂ 排出量の地域差による LCI 分析への影響

5.5 輸送に関する地域別原単位

輸送に関する単位生産額(百万円)あたりの地域別排出量は、生産地域と原材料調達先、販売市場への輸送距離の違いを平均値からの乖離として反映させ算出した。製品 i の輸送に関する原単位 $s_{k,i}$ および $m_{k,i}$ は式(5-8)、式(5-9)の関係を満たす。

$$s_{k,i} = \sum_{j=1}^n t_{k,ji} s_{k,j} + g_{k,i} \quad (5-8)$$

$$m_{k,i} = \sum_{j=1}^n u_{k,ji} m_{k,j} + h_{k,i} \quad (5-9)$$

ここで、 k は輸送機関の種類、 $t_{k,ji}$ は原材料調達輸送に関する投入係数、 $u_{k,ji}$ は販売市場への輸送に関する投入係数、 $g_{k,i}$ は原料調達輸送に関する単位あたりの直接 CO₂ 排出量(t-C/百万円)、 $h_{k,i}$ は販売市場への輸送に関する単位あたりの直接 CO₂ 排出量(t-C/百万円)である。

生産地域 r によって、原料調達や販売市場への輸送距離が異なることを輸送に関する投入係数 $t_{k,ji}$ 、 $u_{k,ji}$ の大きさに反映させ、地域別に投入係数 $t'_{k,ji}$ 、 $u'_{k,ji}$ を新たに作成した。また、輸送距離に応じて、単位あたりの直接排出量も地域別に $g'_{k,i}$ 、 $h'_{k,i}$ を求めた。これらを式(5-8)および式(5-9)に組み込むことにより、地域別に輸送に関する原単位 $s'_{k,i}$ および $m'_{k,i}$ を式(5-10)、式(5-11)から導いた。

$$s'_{k,i} = \sum_{j=1}^n t'_{k,ji} s_{k,j} + g'_{k,i} \quad (5-10)$$

$$m'_{k,i} = \sum_{j=1}^n u'_{k,ji} m_{k,j} + h'_{k,i} \quad (5-11)$$

ここでは、わが国の平均的な投入係数から求められる輸送に関する標準原単位 $s_{k,i}$ および $m_{k,i}$ を用いることから、単位生産額における輸送から排出量は地域によって一定とし、投入額の大きさが生産地域によって変動することを仮定している。

5.5.1 輸送に関する地域別投入係数と直接排出量

輸送機関 k に関する地域別輸送投入係数は式(5-12)および式(5-13)から算出した。

$$t'_{k,ji} = t_{k,ji} \times \frac{D'_{k,ji}}{D_{k,ji}} \quad (5-12)$$

$$u'_{k,ji} = u_{k,ji} \times \frac{L'_{k,ji}}{L_{k,ji}} \quad (5-13)$$

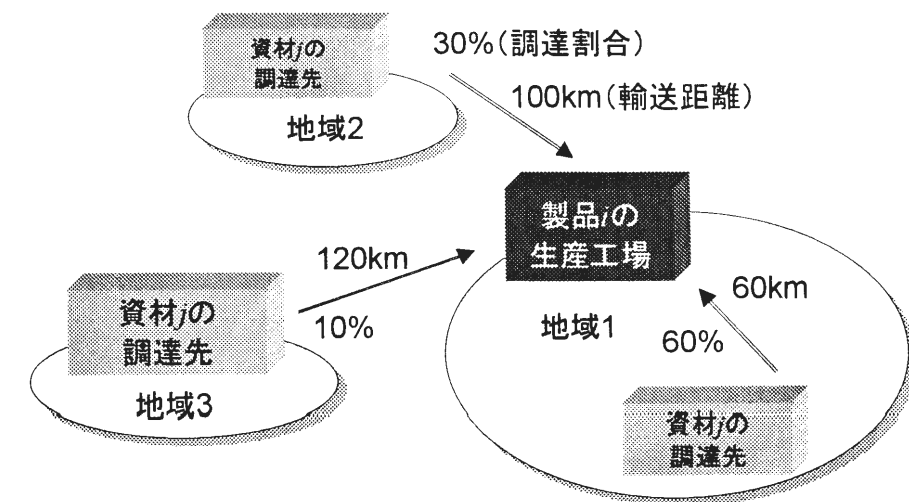
ここで、 $D_{k,ji}$ 、 $L_{k,ji}$ は原材料調達および販売に要する全国平均輸送距離、 $D'_{k,ji}$ 、 $L'_{k,ji}$ は地域 r において生産を行った場合の輸送距離である。

同様に地域別直接排出量 $g'_{k,i}$ 、 $h'_{k,i}$ が輸送距離に比例することを仮定し、次の式より求めた。

$$g'_{k,ji} = g_{k,ji} \times \frac{D'_{k,ji}}{D_{k,ji}} \quad (5-14)$$

$$h'_{k,ji} = h_{k,ji} \times \frac{L'_{k,ji}}{L_{k,ji}} \quad (5-15)$$

地域別輸送距離の設定方法を述べる。いま、図 5-5(上部)のように地域 1 に生産工場を設置し製品 i を生産する場合を考える。原材料である資材 j は工場の立地するのと同じ地域 1 と、それとは異なる地域 2、地域 3 から調達しており、それぞれの調達割合は 60%、30%、10%であると仮定する。このとき、地域 r の平均輸送距離は図 5-5(下部)のように、各地域からの輸送距離に調達割合を乗じた距離の総和として定義し、 $D'_{k,ji}=78\text{km}$ となる。なお、各地域間の輸送距離は都道府県庁所在地の直線距離⁹⁾で代用した。また同一地域内の輸送距離は一律 60km を与えた。



調達地域	調達割合	地域1への輸送距離		
地域1[r=1]	0.6	×	60km	= 36km
地域2[r=2]	0.3	×	100km	= 30km
地域3[r=3]	0.1	×	120km	= 12km
				調達の輸送距離 $D'_{k,ji}$: 78km
↑ 「物流センサス」より決定				

図 5-5 地域別輸送距離の設定モデルと算出方法

調達割合は「全国貨物純流動調査(物流センサス)」³⁾から現在の物流状況を基に設定した。物流センサスには物品の輸送量(輸送重量)が輸送機関別に記載されており、都道府県別に発着地点を知ることができる。例えば京都府における製品*i*の生産に関して、資材*j*の調達割合を設定する場合、図 5-6 に示すように物流センサスから京都府への製品*i*の生産該部門に関する資材*j*の輸送重量を知る。各県から輸送重量を京都府に関する全国合計に対する割合に変換し、調達割合を設定する。

ただし、物流センサスは3日間の調査による結果であるため、資材*j*の輸送実績が存在しないことがある。本研究では、隣接県の実績を適用するとともに、隣接県においても実績がない場合は、全国の平均的な調達割合を適用した。また、全国平均輸送距離は調達割合を全国総重量計に対して定めた。

販売市場までの L'_{kji} , L_{kji} も同様に算出したが、販売地域は生産工場の立地場所に依らないと仮定し、全生産地域に対して、わが国の平均的な製品*i*に関する市場地域の調達割合を充当した。

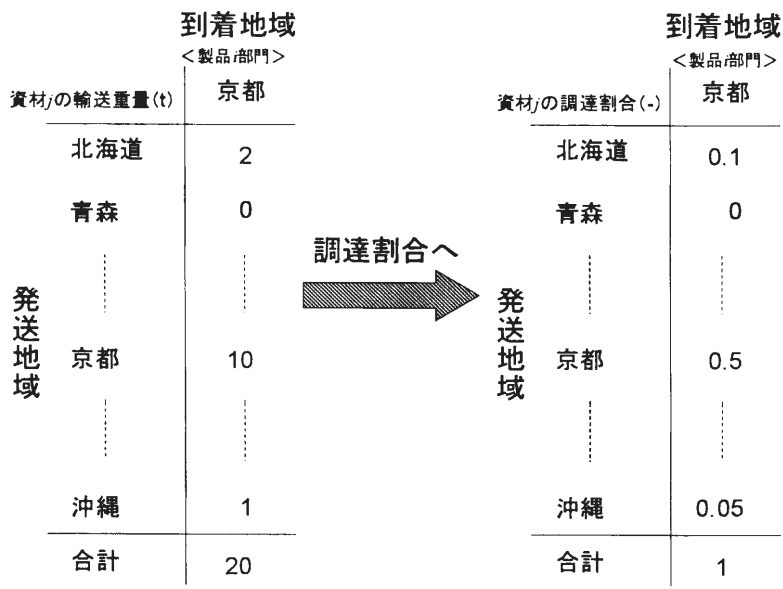


図 5-6 物流センサスからの調達割合の推定方法

5.6 地域別原単位の事例

求めた地域別原単位の例として「複写機」、「ビデオ機器」および「カメラ」に関する CO₂ 排出原単位を図 5-7 に示す。

全体的に、電力消費に伴う排出量の違いが強く影響しており、原子力や LNG 火力の割合が高い、関西地域や関東地域に関する原単位の値は小さくなっている。逆に、火力発電の割合が高い中国地域では単位電力消費あたりの CO₂ 排出量が大きいため、データ値の大きい地域が集まっていること

が分かる。九州地域は火力以外の発電割合が高く、北陸地域に比べ単位電力消費あたりの排出量は小さい地域にもかかわらず、原料や資材の調達や市場までの輸送による負荷量が影響し、原単位の値が高い地域が見られた。特に、石油・石炭火力のみで発電を行っている沖縄地域では、生産に関する負荷量が高い。また、原単位に占める輸送の寄与も大きく、カメラでは他地域が 11%以下であるのに対し、沖縄では 17%に上る。結果として、沖縄地域では多くの製品について排出量が高くなる傾向が確認された。

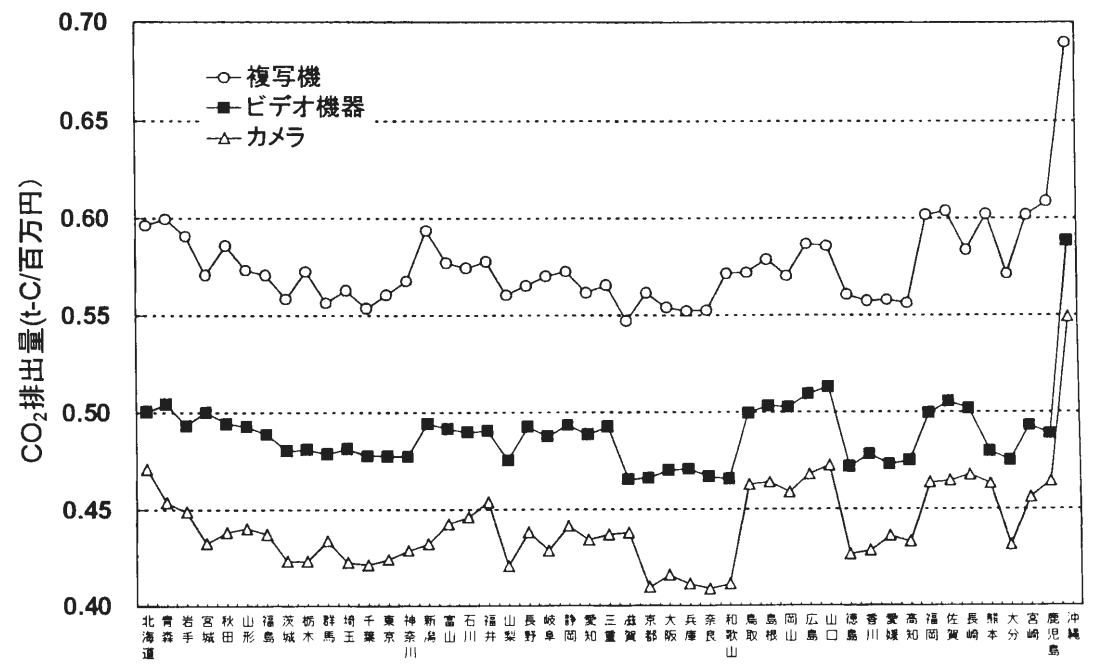


図 5-7 「複写機」、「ビデオ機器」および「カメラ」に関する地域別 CO₂ 排出原単位

5.7 低環境負荷生産地域の選択

一種類の製品を生産する場合は単に地域別原単位 e_i を比較すればよい。最も値の小さい地域が低環境負荷生産地域と考えることができる。一方、複数の製品を生産する場合は、個々の製品の予想される生産量(本研究では生産額)を考慮して判断する必要がある。

いま、図 5-8 に示すように、3 種の製品($i=1,2,3$)を生産する場合を考える。製品*i*の生産額を x_i とし、地域 r に生産工場を立地した場合の推定される CO₂ 排出量を y_r とする。次に、先に求めた地域別原単位 e_i を要素とする行列 **E** を作成し、式(5-15)のように生産額ベクトル **X**{ x_i }と掛け合わせ、排出量ベクトル **Y**{ y_r }を導く。

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{E} \tag{5-15}$$

得られた排出量ベクトル **Y**{ y_r }の各成分のうち、値の小さい地域 r が製品($i=1,2,3$)の混合生産に関

する低環境負荷生産地域として考えられる。

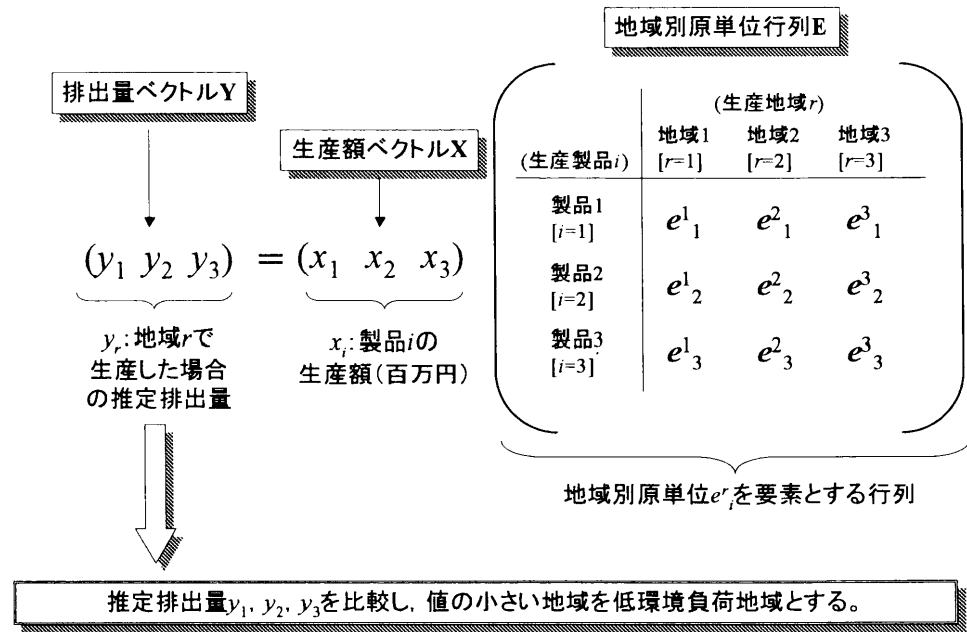


図 5-8 複数製品を生産する場合の低環境負荷生産地域の選択手法

5.7.1 低環境負荷生産地域の選択事例

「複写機」、「ビデオ機器」および「カメラ」の同一地域における生産を例として、先述の手法により低環境負荷生産地域を選択した。総生産額を1億円とし、各製品の生産割合に応じた低環境負荷生産地域、すなわちCO₂排出量の少ない地域を順に、高負荷となる地域と併せて表5-3に示す。

電力消費による負荷が小さいことから、生産割合が変化しても関西地域での生産が優位であることが分かった。奈良、京都、滋賀といった地域はもとより諸産業が集中しており、原料や資材の調達による輸送距離が比較的短いと考えられ、「複写機」、「ビデオ機器」、「カメラ」を生産する場合、CO₂排出量を効果的に抑制することができる地域としてあげられる。

また、生産製品の生産額の割合によって、低環境負荷生産地域の優劣が変動することが確認された。

表 5-3 生産割合に応じた低環境負荷生産地域の事例

	生産額に占める割合					
	10%	10%	20%	20%	70%	70%
	20%	70%	10%	70%	10%	20%
	70%	20%	70%	10%	20%	10%
複写機	No.1 奈良 (43.5)	奈良 (46.4)	奈良 (44.3)	奈良 (47.8)	奈良 (51.5)	滋賀 (52.0)
ビデオ機器	No.2 京都 (43.6)	京都 (46.4)	兵庫 (44.5)	滋賀 (47.9)	兵庫 (51.6)	奈良 (52.1)
カメラ	No.3 兵庫 (43.7)	和歌山 (46.5)	京都 (44.6)	京都 (47.9)	滋賀 (51.7)	兵庫 (52.2)
	No.4 和歌山 (43.8)	兵庫 (46.7)	和歌山 (44.9)	兵庫 (48.1)	大阪 (51.8)	大阪 (52.3)
	No.5 大阪 (44.0)	大阪 (46.8)	大阪 (44.9)	和歌山 (48.1)	千葉 (52.0)	千葉 (52.5)
	No.43 佐賀 (48.7)	北海道 (50.4)	広島 (49.6)	青森 (51.8)	熊本 (56.2)	青森 (56.6)
	No.44 広島 (48.8)	佐賀 (50.7)	佐賀 (49.6)	広島 (52.1)	福岡 (56.4)	福岡 (56.7)
	No.45 北海道 (48.9)	広島 (50.9)	北海道 (49.9)	佐賀 (52.1)	佐賀 (56.6)	佐賀 (57.0)
	No.46 山口 (49.2)	山口 (51.2)	山口 (49.9)	山口 (52.3)	鹿児島 (56.8)	鹿児島 (57.0)
	No.47 沖縄 (57.1)	沖縄 (59.1)	沖縄 (58.1)	沖縄 (60.5)	沖縄 (65.1)	沖縄 (65.5)

()の値は生産1億円あたりのCO₂排出量(t-C)

5.8 まとめ

本章で得られた結果を以下にまとめる。

- 生産地域によって発電構成が異なることを反映し、産業連関表を用いて47都道府県別に製品の生産に関するCO₂排出原単位の作成手法を提案した。
- 地域による発電構成の違いによって、生産に付随するCO₂排出量の相違は大きく、電力消費によるCO₂排出量がライフサイクルでのCO₂排出量の50%を占める場合、わが国の平均原単位により計算した排出量に対し、約88% (関西地域) から約145% (沖縄地域) の違いが生じることがわかった。
- 生産地域によって、原材料調達先や販売市場までの輸送距離が異なることを反映し、輸送機関別に輸送に関する地域別原単位を作成した。
- 「複写機」、「ビデオ機器」、「カメラ」を事例に、生産および輸送に関する地域別原単位を合算した地域別原単位を示し、関西地域による生産がCO₂排出量を抑制できることを明らかにした。
- 地域別原単位を応用し、複数種の製品を生産する場合、各製品の生産割合に応じた低環境負荷生産地域を選択する手法を提案した。
- 「複写機」、「ビデオ機器」、「カメラ」を事例に、一億円の予測生産額に対し、各製品の生産割合を変動させて低環境負荷生産地域を選択した。その結果、関西地域に生産地域が集中したが、生産割合によって最も低負荷となる地域が変化することがわかった。

参考文献

- 1) Potting, J., Schöpp, W., Blok, K., Houschild, M. (1998), Site-Dependent Life-Cycle Impact Assessment of Acidification, *J. Industrial Ecology*, **2**, 63-87.
- 2) Itaoka, K., Uchida, H., Itubo, N., Inaba, A. (2000), Life Cycle Impact Assessment of GHG Emission on Human Health, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.225-228, Tsukuba.
- 3) Uchida, H., Takahashi, K., Harasawa, H., Itaoka, K., Itubo, N., Inaba, A. (2000), Life Cycle Impact Assessment of GHG Emission on Agricultural Production, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.229-232, Tsukuba.
- 4) Moriguchi, Y., Terazono, A. (2000), A Simplified Model for Spatially Differentiated Impact Assessment of Air Emissions, *Int. J. Life Cycle Assessment*, **5**, 281-286.
- 5) 財団法人運輸経済研究センター (1997), 平成 7 年全国貨物純流動調査.
- 6) Matsuno, Y., Betz, M. (2000), Development of Life Cycle Inventories for Electricity Grid Mixes in Japan, *Int. J. Life Cycle Assessment*, **5**, 295-305.
- 7) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編 (1995), 平成 6 年電力需給の概要, 中和印刷.
- 8) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編 (1996), 平成 7 年電力需給の概要, 中和印刷.
- 9) 国立天文台編 (1992), 理科年表机上版, 丸善株式会社.

第6章

LCA の

不確実性分析

6.1 本章の目的と研究方法

産業連関表による原単位が LCI 分析のイベントリデータとして活用できることを第 4 章および第 5 章の事例研究を通じて示した。しかし、原単位は表 2-1 で紹介した機関を始め複数公開されており、推計手法の違いから同じ部門の原単位でもそれぞれ異なる値を示している。したがって、用いる原単位によって、同じ製品であっても異なる分析結果が得られるのである。

現在、原単位の性質を表す指標の一つとして、その値の信頼性について議論されつつある。JIS Q 14041 によれば、公表文献からデータ収集した場合には、その出典を明記しなければならない。調査の結論に対して重要なデータで、文献から収集されたものに関しては、関連データの収集の手順、データの収集時期、およびデータ品質指標を詳述している公表文献をしめさなければならないと記されている。データの品質としては、精度、完全性、代表性、整合性、再現性などが要求されている。加えて、LCI 分析における入力やデータの不確実性の蓄積効果によって生ずる分析結果に関する不確実性分析の実施が望ましいと記述がある¹⁾。LCA において最も基本となる原単位の“確からしさ”が不明であれば、特に、LCA 結果の比較に判断を委ねるような決定にとって、大きな障害となるであろう。

産業連関分析による原単位の信頼性は、①原燃料種の各部門への配分方法²⁻⁴⁾、②平均財として取り扱うことによる投入係数のばらつき⁵⁻⁷⁾、③負荷量の推計に用いる統計データの精度、などに関係している。しかし、これまでのところ原単位の信頼性を定量的に評価する手法は確立していない。第 2

章では原単位を作成し、その推計過程を可能な限り詳述したが、原単位の確からしさについては言及しておらず、原単位作成者としての責務を果たしていない。そこで本章では、原単位の誤差を負荷量の推計に用いる統計データの精度から算出する手法を開発し、原単位を用いたLCI分析結果の信頼性を定量的に評価することを目的とする。

原単位の不確実性に関する研究では、吉田ら⁵⁾が部門内での燃料使用額のばらつきを基に、6種の燃料に関する投入係数に分布を与え、原単位の変動係数を求めている。また、酒井ら^{6,7)}は投入係数の不確実性を考慮し、摂動法の導入により、原単位の感度分析を行っている。これらの研究は図6-1に示すよう、特に投入係数の不確実性に着目して分析している。

一方、本章では各部門の直接排出量の推計に関する不確実性に立脚し、原単位の信頼性を考察する。直接排出量の不確実性は、厳密には排出量推計の基礎となる、各部門における原燃料種関連の投入係数の不確実性に間接的に関連する。しかし、各部門の原燃料種消費量のばらつきは、投入係数を形成する生産額の不確実性によるものよりも、LPGに代表されるような、部門間における購入単価の違いに対する扱いが強く影響を及ぼしていると考えられる。ゆえに、本研究では、原燃料種消費量の不確実性を同時に、投入係数、すなわち各部門の生産額に反映させることは行わない。

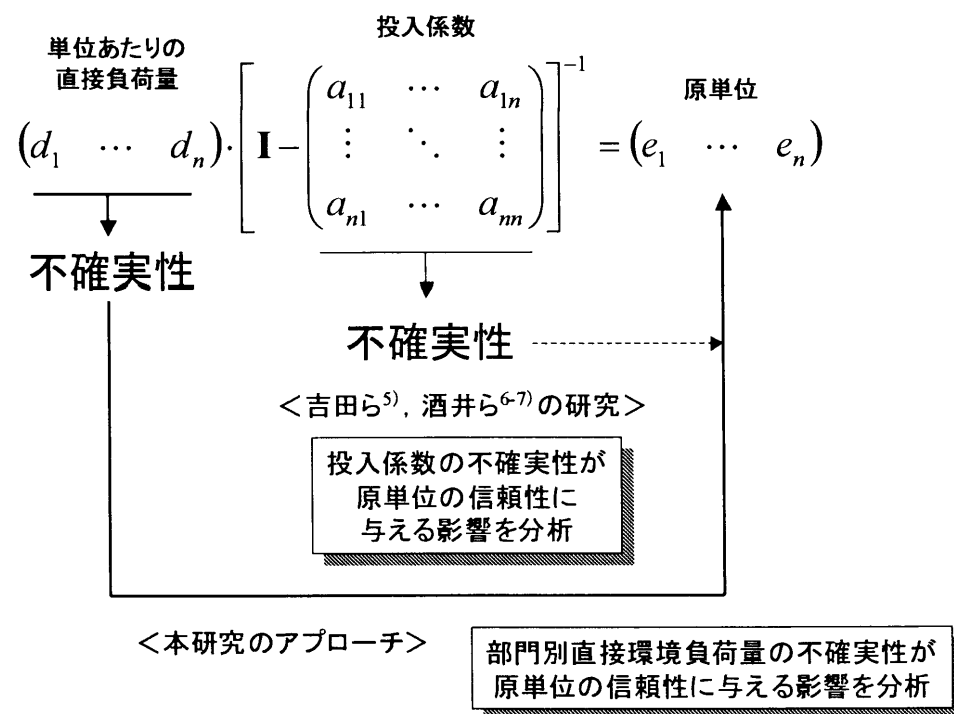


図6-1 本研究と先行研究における原単位誤差分析へのアプローチ

6.2 原単位の信頼性の尺度

データの質を表現する尺度として精度と確度の二つがあげられる。化学分析などの分野では、精度は偶然誤差の大きさ、または偏差の大きさを問題とし、確度は系統誤差をも含めた誤差全体の大きさを問題とする⁸⁾。一般的に偶然誤差とは多数の微少な原因の効果の集積した結果として、不規則に生じる誤差を意味し、系統誤差とは何らかの原因によって、その値に偏りを与えるものをいう。

産業連関表による原単位は、各部門の単位生産額(百万円)あたりの直接環境負荷量にレオンチェフ逆行列を乗じて算出される。部門*i*における直接環境負荷量 D_i は特にCO₂の場合、式(6-1)によって計算される。

$$D_i = \sum_k (f_k q_k t_{ik} m_{ik}) \quad (6-1)$$

ただし、 k はCO₂の排出と関連する原燃料の種類、 f_k はCO₂排出係数(t-C/10⁷kcal)、 q_k は発熱量(10⁷kcal/単位物量)、 t_{ik} は原燃料の燃焼用途率(石灰石の場合は非原料用率)、 m_{ik} はCO₂排出と関連する原燃料種の投入物量である。部門*i*の原単位 e_i は、式(6-2)のように D_j を国内生産額 G_j で除した単位生産額あたりの直接排出量 d_j (t-C/百万円)から導かれる。ただし、 b_{ji} はレオンチェフ逆行列の要素である。

$$e_i = \sum_j b_{ji} D_j / G_j = \sum_j b_{ji} d_j \quad (6-2)$$

本研究では、原燃料種として化石燃料および石灰石を対象に産業連関表の各部門の投入量を推計した。基本的に物量表を中心に部門別投入量を決定したが、各種統計表と比較し物量表の値が大きく異なる場合は補正を行った。燃焼用途率 t_{ik} はエネルギー転換用や原料用と考えられる場合は0とし、他は全て1と設定した。これら原燃料種の部門別投入量に関する詳細な記述は第2章で示した。

ここで、原単位の値に含まれ得る誤差の発生原因を確認し、誤差の種類を定義する。原単位は先の式(6-1)、式(6-2)より求められるが、原単位を平均財としての扱いに限定し、投入係数の変動要因を考えず、レオンチェフ逆行列 b_{ji} および国内生産額 G_j は誤差を含まないと仮定すると、 D_i すなわち、式(6-1)において誤差が発生する。さらに、 f_k および q_k については、公表値により原燃料種によって2～6%程度の違いが見られるが⁹⁾、理論的、実験的にも客観性の高い数値であり、他の変数と比較しその不確実性は無視できることから、 t_{ik} および m_{ik} の設定に伴って誤差が生ずる。

本研究における原単位の推計では、燃焼用途率 t_{ik} は0または1のどちらか一方の値を与えており、実態が中間的な値である場合には、単位あたりの直接排出量 d_i を過大または過小に推計する。一方、投入物量 m_{ik} は各種統計表から推計されるが、統計表によってその値はばらついており、本研究では各統計表の性質等を考え、妥当と考える値を採用している。また、各業種統計では産業連関表の基本分類である約400部門に応じた投入物量の記載はないため、 m_{ik} のうち幾つかは業種統計より得られる大枠での投入量を参考に、国内総消費量との整合性を保ちながら約400部門へ配分を行っている。こうした作業の結果、各部門における m_{ik} の値は不規則な誤差を含むと考えられる。

これらの誤差の性質から、本研究では便宜上、投入物量 m_{ik} による単位あたりの直接排出量 d_i への誤差を偶然誤差、 t_{ik} により生ずる d_i の誤差を系統誤差と仮定して検討を進めた。

6.2.1 偶然誤差の性質

一般に、偶然誤差を含む値 x の分布は式 (6-3) の正規分布で表すことができる¹⁰⁾。

$$f(x)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\tilde{x}}{\sigma}\right)^2\right\}dx \tag{6-3}$$

本研究では、単位あたりの直接負荷量の偶然誤差に関する分布を推計するため、各種統計表¹¹⁻¹⁵⁾に掲載されている投入物量 m_{ik} の相違から生ずる、単位あたりの直接排出量の分布に関する母平均 \tilde{x} および標本平均 \tilde{X} が、本研究で推計した単位あたりの直接排出量 d_i と等しいと仮定した。標準偏差 σ は式 (6-4) のように不偏標準偏差を代用し、不偏分散 V は本研究で調査した統計表で記載されている m_{ik} を採用した場合に取りうる、単位あたりの直接排出量のばらつきから定めた。

$$\sigma = \sqrt{V} / c \tag{6-4}$$

ただし、

$$c = \sqrt{2/(n-1)} \cdot [\Gamma(n/2) / \Gamma\{(n-1)/2\}] \tag{6-5}$$

Γ はガンマ関数である。偶然誤差の推計に関する仮定を図 6-2 にまとめる。また、表 6-1 に本推計による部門別直接排出量 D_i を統合した値が、他統計のばらつきを考慮した場合に取りうる相対誤差について、過大側および過小側の値を示す。なお、計算には第 2 章における β 版の原単位を用いた。

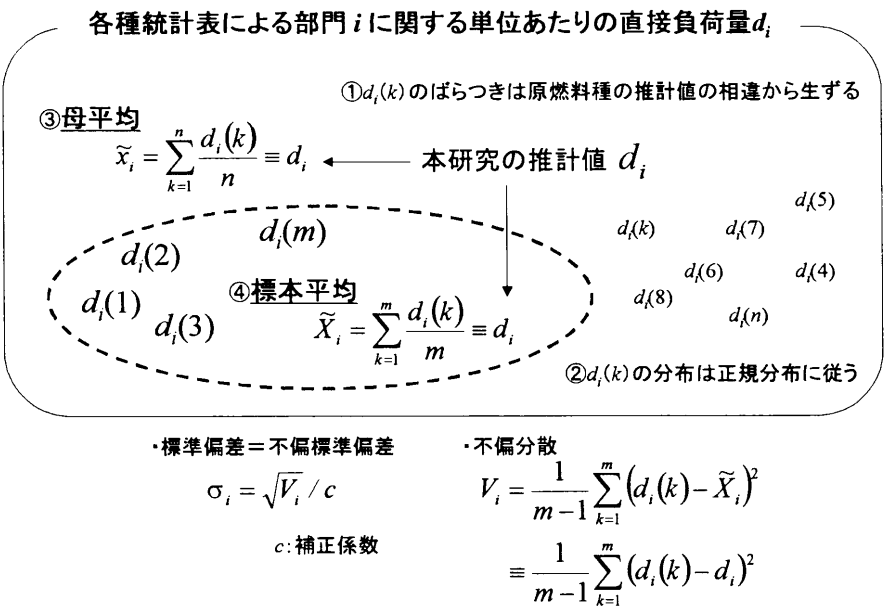


図 6-2 原単位の偶然誤差推定に関する仮定

表 6-1 部門別 CO₂ 排出量の相対誤差

部門名	本推計値*) (t-C)	他統計との相対誤差	
		過大側	過小側
農林水産業	5,496,883	74.6%	-
鉱業	296,745	149.1%	-
食料品	4,262,594	-	-29.7%
繊維製品	1,465,840	43.7%	-
パルプ・紙・木製品	8,089,911	-	-30.9%
化学製品	19,964,459	-	-19.5%
石油・石炭製品	14,600,065	12.5%	-
窯業・土石製品	24,126,130	-	-3.5%
鉄鋼	39,633,622	12.5%	-4.8%
非鉄金属	1,665,651	32.4%	-
金属製品	1,059,437	-	-18.2%
一般機械	850,768	-	-16.8%
電気機械	1,113,095	14.2%	-4.0%
輸送機械	1,379,007	42.7%	-4.8%
精密機械	118,608	-	-8.2%
その他の製造工業製品	1,797,188	-	-7.2%
建設	4,390,167	19.1%	-
電力・ガス・熱供給	82,911,060	7.9%	-

*) 自家発電分を含む

6.2.2 系統誤差の性質

系統誤差は、結果にある一定のかたよりとを与え、その程度が判明すれば修正可能な誤差である¹⁰⁾。原単位の推計過程において、原燃料種の燃焼用途率 t_{ik} を正確に設定することは非常に困難である。本研究で用いた 0 または 1 のいずれかの値を設定する方法では特に、 t_{ik} を 0 とした原燃料種が投入されている石油製品、化学製品部門において、原材料から製品への転換効率を過大に評価する。ゆえに、当該部門の単位あたりの直接排出量 d_i は、真の t_{ik} 値を与えた場合の d_i^{Real} より若干過小側へ傾斜する。本章では本研究における推計値 d_i と d_i^{Real} の差を系統誤差 Δd_i として扱った。

$$\Delta d_i = d_i^{\text{Real}} - d_i \tag{6-6}$$

ここでは、公表統計¹¹⁾における原燃料種のエネルギー転換部門自家消費量を参考に、燃料種の燃焼用途率 $t_{ik}=0$ としている箇所において、5% を最大誤差と見積もり、 $t_{ik}=0.05$ とした場合を d_i^{Real} と仮定した。

6.3 原単位への誤差伝播¹⁶⁾

6.3.1 偶然誤差と原単位との関係

単位あたりの直接排出量 d_i の含む誤差は、式 (6-2) より原単位 e_i へと伝わる。ここでは、 e_i の誤差は Gauss の誤差伝播法則に従うとする。誤差伝播法則によれば直接測定される x_1, x_2, \dots, x_n がそれぞれ、分散 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ の互いに独立な偶然誤差を持つ場合、式 (6-7) の関数関係にある間接測定値 X の偶然誤差の分散 σ_X^2 は式 (6-8) となる。

$$X = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (6-7)$$

$$\sigma_X^2 = \sum_i (\partial g / \partial x_i)^2 \sigma_i^2 \quad (6-8)$$

ここで、直接排出量 d_i についての σ_i^2 と σ_j^2 は互いに独立と仮定すると、式(6-2)から原単位 e_i の誤差の分散 $\sigma[e_i]^2$ は式(6-9)となる。

$$\sigma[e_i]^2 = \sum_j b_{ji}^2 \sigma_j^2 \quad (6-9)$$

6.3.2 系統誤差と原単位の関係

直接測定値の系統誤差を $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ とするとき、間接測定値 X の系統誤差 ΔX は、式(6-10)から求めることができる。

$$\Delta X = \sum_i (\partial g / \partial x_i) \Delta x_i \quad (6-10)$$

先と同様に、式(6-2)より原単位 e_i の系統誤差 Δe_i は式(6-11)から決定される。

$$\Delta e_i = \sum_j b_{ji} \Delta d_j \quad (6-11)$$

6.3.3 誤差の合成

本章では、偶然誤差と系統誤差を含めた誤差範囲を最大誤差(信頼係数 99%)の形で示す。原単位の偶然誤差が正規分布に従い、系統誤差が正と判断できることから、原単位の真値 e_i^{Real} は式(6-12)の領域(信頼領域とよぶ)に存在すると考えられる。ここで領域の境界をそれぞれ、 $\text{Min}(e_i)$ 、 $\text{Max}(e_i)$ とする。

$$e_i - 2.58\sigma[e_i] + \Delta e_i < e_i^{\text{Real}} < e_i + 2.58\sigma[e_i] + \Delta e_i \quad (6-12)$$

$$\text{Min}(e_i) < e_i^{\text{Real}} < \text{Max}(e_i) \quad (6-13)$$

6.4 LCI 分析結果への誤差伝播

産業連関表による原単位を用いた LCI 分析手法の一つに、分析対象財 T の生産者価格を財の素材構成や生産プロセスを考慮し、産業連関表の部門 i に関する投入価格 p_i に分配する方法がある。製品を対象とした分析では、投入価格 p_i が既知であることが多いため、この作業は比較的容易である。このとき、直接、間接に発生する環境負荷量を含む原単位の性質から、財 T に関する環境負荷量 L_T は式(6-14)より求められる。

$$L_T = \sum_i p_i e_i \quad (6-14)$$

ここで、 e_i の誤差の分散 $\sigma[e_i]^2$ がそれぞれ独立であると仮定すると、環境負荷量 L_T の系統誤差 ΔL_T と分散 $\sigma[L_T]^2$ は、先と同様に式(6-15)、式(6-16)からそれぞれ決定される。

$$\Delta L_T = \sum_i p_i \Delta e_i \quad (6-15)$$

$$\sigma[L_T]^2 = \sum_i p_i^2 \sigma[e_i]^2 \quad (6-16)$$

6.5 原単位の信頼領域

図6-3に1995年産業連関表399部門について、算出した原単位 e_i の相対誤差を示す。また、表6-2に主な部門の CO_2 排出原単位に関する標準偏差 $\sigma[e_i]$ 、系統誤差 Δe_i および相対誤差を記す。

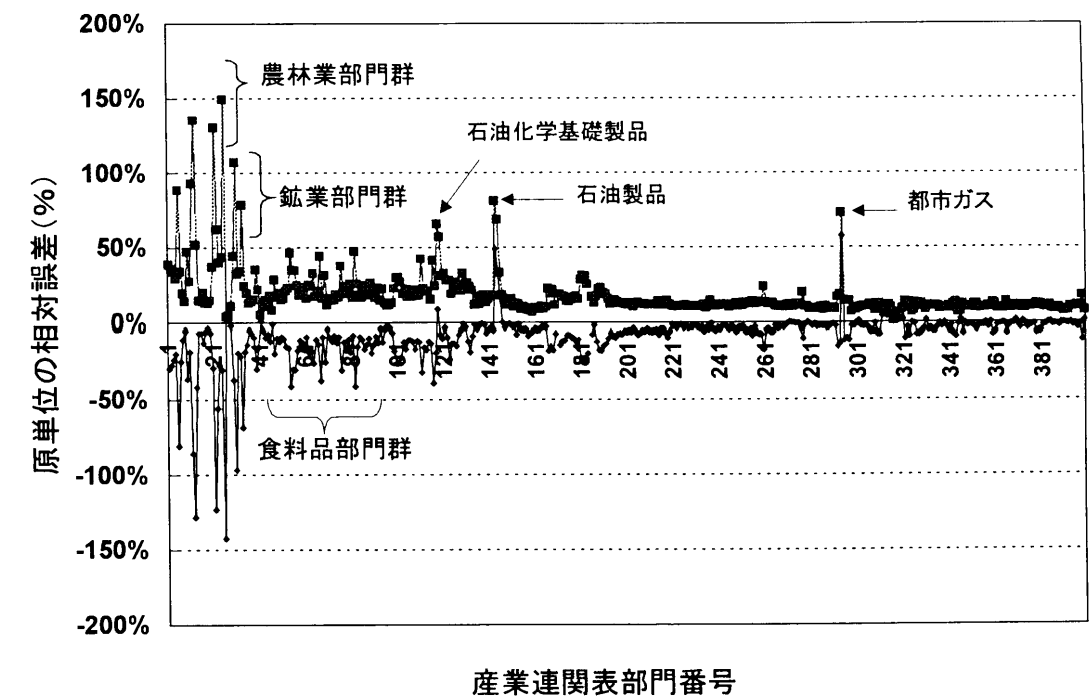


図 6-3 信頼領域内における CO_2 排出原単位の相対誤差

図6-3では農林業関連部門のうち、数部門の原単位が非常に大きな相対誤差を含む可能性を示しているが、これは農林業関連における単位あたりの直接排出量 d_i の分散が非常に大きいためであり、各種統計表における軽油、灯油の消費量の違いが主な原因である。活動ベースの産業連関部門分類に対し、他統計は業種分類であることから、実際は家計消費であった燃料分を含んでいる疑いもある。

り、本研究の推計値とのずれを拡大している。したがって、業種統計における燃料消費先の区分を明確にすれば、本推計値の信頼領域は縮小すると考えられ、今後見直しを図る必要がある。

鉱業関連部門では、軽油および重油の消費量に関して統計表間の違いがあり、原単位の相対誤差が大きい。産業連関表では、自家用貨物輸送等の運輸関連部門に含まれる産業活動に関する消費量の一部が、他統計では鉱業部門に計上されていることが考えられる。

また、食料品関連部門も比較的誤差の大きい部門が存在する。農林業の誤差が大きいことから、経済的連関の強い食料品部門へ、その誤差が伝播している。しかし、他の工業部門への投入は小さいため、工業関連部門の原単位の相対誤差は 30% 程度に収まっている。

d_i に系統誤差を有する部門は、偶然誤差の影響より、系統誤差による誤差の拡大が確認できた。例えば、ナフサからエチレンの生産を行う「石油化学基礎製品」、原油からの石油製品へ転換する「石油製品」部門では、燃焼用途率 t_{ik} の 5% 過小評価により生ずる系統誤差が、伝播による系統誤差も含めてそれぞれ、原単位の約 38%、65% に相当する。

表 6-2 から個々の原単位を考察する。本研究による単位あたりの直接排出量 d_i を母平均および標本平均とした場合、「銑鉄」部門の原単位 e_{166} は、図 6-4 のように β 版の原単位では 22.084 (t-C/百万円) から 32.797 (t-C/百万円) の間に真の値 e_{166}^{Real} が 99% の信頼確率で存在すると解釈できる。換言すれば、原単位 26.754 (t-C/百万円) は -17% ~ 23% の誤差を含む値と理解することができる。しかし、「石油化学基礎製品」のように系統誤差が大きいものは原単位が 5.100 (t-C/百万円) に対して、信頼領域が 5.564 ~ 8.444 (t-C/百万円) となっており、燃焼用途率 t_{ik} の実態反映が原単位精度の向上に不可欠である。

表 6-2 1995 年 CO₂ 排出原単位 (t-C/百万円) の信頼領域 (一部抜粋)

列コード	部門番号	部門名	原単位	相対誤差 (%)	$\sigma [e]$	Δe
181101	99	パルプ	2.738	-17.4 ~ 22.7	0.212	0.073
181201	100	洋紙・和紙	3.040	-25.0 ~ 29.5	0.321	0.069
181202	101	板紙	3.249	-25.1 ~ 30.1	0.347	0.082
201101	111	アンモニア	10.204	-31.8 ~ 42.3	1.467	0.534
201102	112	化学肥料	2.221	-15.1 ~ 22.6	0.162	0.083
202101	113	ソーダ工業製品	4.793	-16.6 ~ 20.9	0.349	0.104
203101	118	石油化学基礎製品	5.100	9.1 ~ 65.6	0.558	1.904
203102	119	石油化学系芳香族製品	5.093	-6.6 ~ 57.0	0.628	1.284
203201	120	脂肪族中間物	3.908	-9.3 ~ 30.9	0.304	0.422
203202	121	環式中間物	3.606	-2.9 ~ 32.8	0.250	0.539
261101	166	銑鉄	26.754	-17.5 ~ 22.6	2.076	0.686
261102	167	フェロアロイ	9.656	-14.7 ~ 19.2	0.633	0.217
261103	168	粗鋼(転炉)	13.035	-16.9 ~ 21.7	0.975	0.314
261104	169	粗鋼(電気炉)	3.835	-6.5 ~ 11.5	0.134	0.096
262101	171	熱間圧延鋼材	7.037	-13.5 ~ 18.9	0.442	0.188
262201	172	鋼管	3.992	-10.9 ~ 17.4	0.219	0.129
262301	173	冷間仕上鋼材	4.270	-10.8 ~ 16.9	0.229	0.129
262302	174	めっき鋼材	2.661	-7.2 ~ 14.4	0.111	0.096
263101	175	鍛造鋼	3.420	-7.0 ~ 13.9	0.139	0.119
263102	176	鍛鉄管	2.823	-8.8 ~ 15.2	0.131	0.091
263103	177	鍛鉄品及び鍛工品(鉄)	4.525	-9.3 ~ 16.7	0.228	0.166
264901	178	鉄鋼シャースリット業	3.252	-11.4 ~ 17.2	0.181	0.094

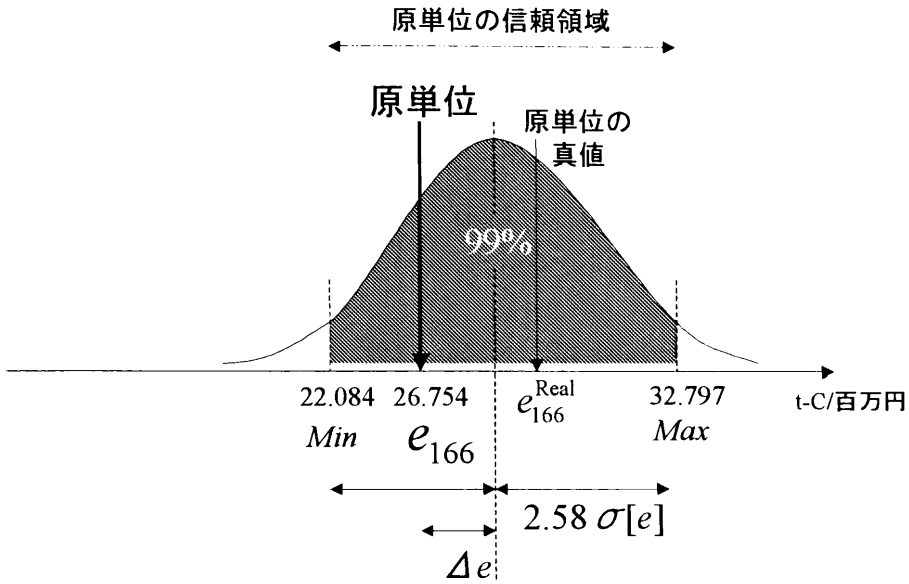


図 6-4 「銑鉄」部門の CO₂ 排出原単位と信頼領域の関係

6.6 LCI 分析結果の誤差 (乗用車生産を例として)

各原単位を利用し LCI 分析を行った場合、分析結果が含み得る誤差を乗用車の生産を例に検討した。乗用車の平均的な構成素材¹⁷⁾と産業連関表の部門対応をとり、該当する原単位に、構成素材重量に相当する生産額を乗じて CO₂ 排出量を求め、素材の加工、組み立てに関する負荷を別途加算した。なお、乗用車の車重を 1,000kg とし、素材重量を定めた。構成素材と対応した原単位 e_i に関する諸数値および生産額 p_i を表 6-3 に示す。

表 6-3 乗用車の素材構成該当部門の原単位と相対誤差

列コード	部門名	生産額 (百万円)	原単位 (t-C/百万円)	相対誤差 (%)	$\sigma [e]$	Δe
151102	紡績糸	0.0057	1.104	-11.5 ~ 19.4	0.066	0.044
161102	合板	0.0000	0.675	-3.5 ~ 14.9	0.024	0.039
204101	熱硬化性樹脂	0.0039	2.407	-4.2 ~ 21.3	0.119	0.206
204102	熱可塑性樹脂	0.0076	3.438	-0.9 ~ 32.8	0.225	0.548
204109	その他の合成樹脂	0.0008	3.488	-11.2 ~ 26.2	0.253	0.263
207201	塗料	0.0053	1.359	-0.3 ~ 17.5	0.047	0.117
231101	タイヤ・チューブ	0.0155	1.440	-3.0 ~ 15.5	0.052	0.090
251101	板ガラス・安全ガラス	0.0283	1.512	-3.7 ~ 9.0	0.037	0.040
261101	銑鉄	0.0003	26.754	-17.5 ~ 22.6	2.076	0.686
262101	熱間圧延鋼材	0.0462	7.037	-13.5 ~ 18.9	0.442	0.188
262201	鋼管	0.0017	3.992	-10.9 ~ 17.4	0.219	0.129
262301	冷間仕上鋼材	0.0079	4.270	-10.8 ~ 16.9	0.229	0.129
262302	めっき鋼材	0.0177	2.661	-7.2 ~ 14.4	0.111	0.096
271101	銅	0.0035	1.383	-22.3 ~ 28.4	0.136	0.042
271102	鉛・亜鉛(含再生)	0.0007	2.555	-23.7 ~ 31.2	0.272	0.095
271103	アルミニウム(含再生)	0.0352	1.643	-25.3 ~ 30.5	0.178	0.043
271109	その他の非鉄金属地金	0.0005	1.268	-19.3 ~ 25.3	0.110	0.038

式(6-15), (6-16)より乗用車の素材に関する $\sigma [L_T]$, ΔL_T を求めると, 共に 0.022 となった。CO₂排出量は 0.603t-C となり, この信頼領域は式(6-12)から 0.569t-C から 0.681t-C と計算できる。また, 素材の加工や組み立てに関する排出量は 0.282t-C であり, その信頼領域は 0.261t-C から 0.313t-C となった。すなわち, 乗用車生産に関する LCI 分析を行った場合, 原単位の誤差によって CO₂排出量 0.884t-C は, 信頼領域を考慮すると 0.850t-C から 0.974t-C の幅を持ち, 相対誤差を-4%から 10%有すると考えられる。一方, 産業連関表の「乗用車」部門原単位の相対誤差は-3%から 11%であり, おおよそ一致する結果となった。

6.7 まとめ

本章で得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 公表統計表の原燃料消費値のばらつきに着目し, 産業連関表各部門における CO₂ 排出量の推計幅を検討し, 本研究における排出量との相対誤差を示した。
- ・ 各部門における CO₂ 排出量の誤差を発生原因の違いから, 偶然誤差と系統誤差に区分し, Gauss の誤差伝播則に従って原単位値の信頼領域を求めた。例えば, 「銑鉄」部門の CO₂排出原単位の値 26.754 (t-C/百万円)は-17.5%~22.6%の相対誤差を持つ。
- ・ 複数の原単位を利用して, ある財に対し LCI 分析を行った場合の結果に関する信頼領域を求める手法を提案した。乗用車の車体生産を例に適用した場合, LCI 分析結果は 0.884t-C となるが, その信頼領域は 0.850t-C から 0.974t-C であり, 相対誤差-4%から 10%を持つ結果であることが示された。

参考文献

- 1) 平河 喜美男(2000), JIS Q 14041 環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-目的及び調査範囲の設定並びにインベントリ分析, 財団法人 日本規格協会.
- 2) 森口祐一, 近藤美則(1998), 資源輸入に伴う環境負荷の定量化と負荷の配分方法が LCI に与える影響の分析, 日本エネルギー学会誌, 77, 1062-1069.
- 3) Furuho, E. (1995), Life Cycle Assessment of Gasoline and Diesel, Resources, *Conservation and Recycling*, 14, 251-263.
- 4) Kim, S., Hwang, T., Lee, M. K. (1997), Allocation for Cascade Recycling System, *Int. J. Life Cycle Assessment*, 2, 217-222.
- 5) 吉田好邦, 石谷 久, 松橋隆治, 大熊裕之(2000), LCA の感度分析ー産業部門におけるエネルギー消費量の不確かさを考慮してー, 第 16 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.61-66.
- 6) 酒井信介, 丹野史朗, 本藤祐樹(2000), 摂動法の導入による産業連関分析の感度分析, 第 16 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.67-72.
- 7) Sakai, S., Tanno, S., Hondo, H. (2000), Uncertainty Analysis for I/O Analysis Using Perturbation Method, Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance, pp.181-184, Tsukuba.
- 8) 社団法人 日本化学会(1975), 新実験化学講座 1-基本操作Ⅱ, 丸善株式会社, pp.903-908.
- 9) 近藤美則(1996), 二酸化炭素の排出構造の分析と排出抑制対策の評価に関する研究, 神戸大学博士論文.
- 10) 社団法人 日本化学会(1976), 化学総説-NO.10-化学における精密測定, 株式会社 学会出版センター.
- 11) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編(2000), 総合エネルギー統計(平成 11 年度版).
- 12) 通商産業大臣官房調査統計部編(1996), 平成 7 年石油等消費構造統計年報.
- 13) 通商産業大臣官房調査統計部編(1996), 平成 7 年エネルギー生産・需給統計年報.
- 14) 通商産業大臣官房調査統計部編(1996), 平成 7 年鉄鋼統計年報.
- 15) 運輸省運輸政策局情報管理部編(1998), 平成 10 年版運輸関係エネルギー要覧.
- 16) 吉澤康和(1989), 新しい誤差論 実験データ解析法, 共立出版株式会社.
- 17) 日本自動車工業会資料(1999).

第7章

結 論

7.1 本研究の結果と総括

本研究では 1995 年産業連関表を用いて大気環境負荷原単位を算出し、わが国の大気環境負荷量における経済活動部門別の寄与を明らかにすると共に、事例研究を通じて原単位を LCA のインベントリデータとして応用した。

結果として、エネルギー消費量、CO₂ 排出量、NO_x 排出量、SO_x 排出量および PM 排出量に関する原単位を約 400 部門の経済活動部門ごとに算出し、インベントリデータとして利用することが可能となった。また、原単位とその推計過程で得られる結果を用いて、わが国のエネルギー消費量および大気環境負荷量に対する各燃料種の寄与や、経済部門別の寄与を定量的に示した。さらに、運輸や家計部門における負荷量の低減策として EV の普及を考え、EV 導入による低減効果を原単位を用いた LCI 分析により評価した結果、低減される負荷量には地域間格差が大きいことが判明した。LCI 分析の地域による違いを簡易に求めるため、原単位に環境負荷量に影響を与える発電構成などの地域特性を反映させる手法を開発し、CO₂ に関する地域別原単位を作成した。また、地域別原単位を用いて生産製品に付随する環境負荷が抑制される生産拠点の選択手法を提案した。加えて、原単位の算出過程から生ずる誤差に着目し、原単位の信頼性と LCI 分析結果の不確実性を定量的に評価する手法を示した。

以下に、本論文において得られた知見を各章ごとに整理し総括する。

第 2 章では、現在、大気環境負荷に関連する物質に関するインベントリデータの整備が不十分であることから、まず、1995 年産業連関表を用いて約 400 部門に分類されたわが国の経済活動部門別にエネルギー消費量、CO₂、NO_x、SO_x および PM 排出量を推計し、その手法を詳細に論じた。さらに、産業連関分析の応用から LCA におけるインベントリデータとして利用可能な、単位生産額(百万円-

生産者価格)あたりの直接および間接に引き起される環境負荷量を示す“原単位”を導いた。また、エネルギー消費量、CO₂ 排出量に関する原単位(β版)を試験的にホームページ上で公開すると共に、利用者に対して利用目的やパブリックデータとしての重要点などをホームページ上でアンケート調査を行い確認した。

第3章では、大気環境負荷の低減に向けた施策の構築には大気汚染物質の定量的な把握と、排出構造の実態を認識することが重要であることを指摘し、第2章において得られた結果から、燃料種および経済部門別にエネルギー消費量、大気環境負荷物質の排出量を示した。また、最終需要側からみた分析を行い、各部門への経済的需要が直接・間接的に誘発する環境負荷量を定量的に明らかにした。その結果、1995年のわが国の経済活動に伴うエネルギー消費量は4,138Ecalと推計された。燃料種別ではB・C重油起源の消費が多く、部門別の直接的な消費量は「電力・ガス・熱供給」部門、「運輸」部門がそれぞれ29%、18%を占めた。また、全体の14%に相当するエネルギーが「建設」部門への需要により消費されており、飲食店や娯楽施設などが該当する「対個人サービス」部門への需要が7%のエネルギー消費を促したことがわかった。最終需要部門別では、「民間消費支出」による需要が全体の消費量の51%を占めた。

総CO₂排出量は3.4億t-Cと推計され、B・C重油による排出が13%であった。部門別では、「電力・ガス・熱供給」部門が27%を占め、石灰石を使用する「窯業・土石製品」部門はエネルギー消費と比較し寄与としては大きく7%であることがわかった。加えて、誘発部門別では「建設」部門への需要が18%に相当するCO₂排出量を引き起したことが判明し、最終需要部門別では、資本形成に対する需要が全体の27%のCO₂を誘発したことを示した。

NO_x排出量は357万tと推計され、燃料種別ではB・C重油の燃焼による排出が40%を占めた。部門別では「運輸」部門が61%と大きく、「電力・ガス・熱供給」部門の寄与は7%にとどまった。また、誘発部門別にみると「運輸」部門、「建設」部門に続き、「食料品」部門の寄与が大きく、6%に上ることがわかった。最終需要部門では、「輸出」需要が37%に相当するNO_x排出を引き起したことが明らかになった。

SO_x排出量は総計で185万tと計算され、燃料種別ではB・C重油が67%を占める結果となった。また、「運輸」部門が直接排出量として52%の寄与を示した。排出を誘発した部門としては、「運輸」部門はもとより、「建設」部門および「食料品」部門に対する需要もそれぞれ9%、7%を占めることがわかった。最終需要部門別では「民間消費支出」により31%、「輸出」に関する需要が47%に当たる排出量を引き起すという結果を得た。

人為起源の一次粒子を対象としたPM排出量は34万tとなり、そのうち、固定発生源から47%、移動発生源から53%の排出があることがわかった。燃料種別では、B・C重油が多く、軽油、A重油と続いた。非化石燃料としてタイヤの磨耗による排出を考慮した結果、全体の9%に当たる排出量となった。直接的な排出部門としては「運輸」部門が42%、「農林水産業」部門が10%を占めることがわかった。一方、PMの排出を誘発したのは「運輸」、「建設」への需要が原因であり、最終需要部門別では「輸出」により22%、資本形成に関する需要が26%におよぶ排出量を誘発したことが明らかになった。

第4章では、第3章で示した大気環境負荷の実態を踏まえて自動車の排出抑制を課題とし、EVを乗用車と代替に普及させることによる環境負荷の低減効果をLCI分析により評価した。第2章の原単位をインベントリデータとして用い、EV普及のためのインフラストラクチャーとして必要な充電ステーションの設置に関する負荷をも含め計算を行った。また、走行のための充電による負荷量は、地域による発電構成と充電時間帯の違いを考慮し、わが国を10地域に大別して算出した。

結果として、EVのライフサイクルCO₂排出量は全国平均で3.6t-C/台であり、EVを使用する地域によって全国平均を基準として約72%～165%の違いがあった。同様に、NO_xは13.1kg/台で66%～151%の違いがあり、SO_xは12.2kg/台で51%～312%の相違を生じた。さらに、充電方式の選択によりEVの環境負荷量の違いを導入地域別に検討した。これにより、蓄電池を充電ステーションに設置し、深夜電力を蓄電したうえ日中供給した場合、沖縄地域以外では充電による排出量は減少する一方、ライフサイクルでの評価は蓄電池の設置による排出量が増加し、充電時の減少分を相殺する地域もあることが明らかになった。また、地域別の普及モデルを作成し、EVをガソリン車と代替に全国的に普及させた場合の環境負荷低減効果を分析した結果、CO₂およびNO_xの排出量は減少するが、SO_xに関しては乗用車登録台数の約20%以上の普及率に達するまでは排出量が増加する可能性が示唆された。

第5章では、LCI分析の結果が地域の諸条件によって、有意な差が生ずることを第4章で確認したことを受けて、各都道府県の発電構成と輸送形態に関する地域特性を反映した地域別原単位をCO₂を対象として整備した。また、地域別原単位のLCI分析への応用として、地域特性により製品の生産に伴う環境負荷が抑制される生産地域を簡易に選択手法を提案した。

その結果、「複写機」、「ビデオ機器」、「カメラ」を事例に、地域別CO₂排出原単位を示し、関西地域による生産がCO₂排出量を抑制できることを明らかにした。さらに、「複写機」、「ビデオ機器」、「カメラ」に関して、これらの製品の総予測生産額を一億円とし、各製品の生産割合を変動させて低環境負荷生産地域を選択した結果、関西地域に低環境負荷となる生産地域が集中したが、生産割合によって最も低負荷となる地域が変化することがわかった。

第6章では、インベントリデータの信頼性を記すことがISO(International Organization for Standardization)でも指摘されているが、未だ明確な評価手法が確立していないことから、第2章の原単位に関する信頼性を定量的に示す手法をCO₂排出原単位を対象として開発した。また、分析対象に投入される原材料や資源などを調査し、複数の原単位を利用して積み上げ法によりLCI分析を行った結果に対する信頼領域を求める手法を提案した。

公表統計表の原燃料消費値のばらつきに着目し、産業連関表各部門におけるCO₂排出量の推計幅(β版を基準)を検討した。推計幅から、本研究における排出量の相対誤差を算出し、各部門におけるCO₂排出量の誤差を発生原因の違いから、偶然誤差と系統誤差に区分してGaussの誤差伝播則に従って原単位の信頼領域を求めた。

その結果、例えば、「銑鉄」部門のCO₂排出原単位の値26.754(t-C/百万円)は-17.5%～22.6%の

相対誤差を持つと示した。また、乗用車の車体生産を例に適用した場合、LCI 分析の結果は0.884t-C となるが、その信頼領域は 0.850t-C から 0.974t-C であり、相対誤差-4%から 10%を持つ結果であると評価された。

7.2 研究成果の活用

わが国の LCA において輸入品に関する環境負荷の定量が容易でない現状から察するに、海外でも同様ではないかと考えられる。本研究で構築した大気環境負荷原単位データベースは国外に発信することにより、国外の LCA 実施者やエネルギー・環境システム研究者にとって有用な日本の環境情報となる。情報の利点が広く認識されれば、産業連関表は主要な国々で既に作成されていることを利用し、共通した作成概念とデータフォーマットに基づく環境情報を相互提供しようとする動きに拍車をかけることも期待できる。

また、本研究ではEVを対象として行ったが、インフラ整備による影響を含めた環境技術評価は、今後ますます重要となるであろう。例えば、現在、燃料電池車が画期的な環境技術として注目されているが、燃料電池車は水素の供給源をメタノールにすれば、新たな供給設備を必要とし、ガソリンとすれば既存施設が利用できるものの、改質温度が高く、硫黄の完全除去を必要とし技術的負荷が増加する。他の技術を選択しても、いずれにせよ何らかのインフラ整備が必要となる。このように、環境対策の効果はインフラ整備による影響を無視して判断することはできず、本研究は先駆の事例として活用できると考えられる。

さらに、地域特性による低減効果の格差を示した結果から、これから各都道府県のそれぞれの裁量で独自に環境改善策を講じる場合には、地域特性の配慮が不可欠であると判断され、地域による違いを概算で知るには本研究の地域別原単位を応用することもできるであろう。

7.3 今後の課題

本研究では大気環境負荷という視点から LCA、特に LCI 分析に関する新たな手法を開発してきたが、今後取り組むべき課題を以下に整理する。

7.3.1 大気環境負荷量の推計と構造分析に関する課題

大気環境負荷量の推計においては石油化学製品の製造プロセスから生ずる副生燃料の精査が必要である。副生燃料には金銭取引を伴わず、発生した事業所内で燃焼させているため統計表に現れないが無視できない消費量が存在することが本研究で用いた MAP 調査の結果からも分かった。CO₂ の排出を伴う燃焼であるため、CO₂ の抑制が国家の命題である今、早急に排出量を定量化する必要がある。また、炭化水素系ガスには変質により CO₂ へと変化するものがあるが、こうした排出は定量化

されていない。塗装に関する原単位などは大きく数値が変わると予想されるため、今後の課題と位置付けられる。また、PM については一次粒子に限った推計を行ったが、抑制可能な人為起源の PM 排出量を把握するには二次粒子の発生量を求めなければならない。さらに、PM は種々の粒径をもち、多くの化学成分からなる。粒子の生成機構が複雑で未解明な部分も多く、粒子の物理・化学的特性を考慮に入れた解析を行うことも重要といえる。そのためには、各発生源別の排出係数の厳密な測定と公表が不可欠である。

そして、大気環境負荷の構造分析からは、建設需要は CO₂ を始めとする大気汚染物質の排出を大きく誘発する部門であることが定量的に明らかになった。次は、経済政策と環境政策を融合させ、これまで景気対策として道路や河川といった公共工事を実施してきた政策を再検討し、成長と環境保全の両立を果たす具体的な方策を打ち出すことが重要である。

産業連関表は約 400 部門に分割された経済活動毎の環境負荷量を、部門間の相互関係を織り込み表現することができる貴重な情報源である。特に、わが国の産業連関表は世界でも精度に優れていると高い評価を受けている。現在、地球温暖化の関心と 400 部門分類での分析に利用可能な環境負荷物質に関するデータがエネルギー消費量や CO₂ 排出量に集中していることも手伝って、これらの負荷を対象とした分析結果が多い。データの有無が環境分析の主題を決めては本末転倒である。せめて産業連関表の 400 部門程度の分類ごとには、あらゆる環境負荷データが完備されてしかるべきである。データの整備にはあらゆる業種の協力が必要である。環境に影響を与える物質を発生させている事実の公表は、企業にとっては確かにイメージダウンに繋がりがかねないものではある。しかし、消費者意識も変わり、非公開や虚偽報告は社会的責務を果たさぬ企業として、それ以上の制裁を受ける時代へと動いている。知りたい環境情報を国内外を問わず、全ての人が即座に入手できる。環境先進国としてわが国が進むべき道の一つである。個々の環境情報の提供が、相乗的に果たす効果は大きい。環境データ収集に多大な労を要する時代が終わることを願う。

7.3.2 LCI 分析に関する課題

将来的に炭素税や環境税などが導入され、CO₂ 排出量の抑制が企業収益を左右する時代へと移行した時、製品開発後に LCA により評価し改善する事後的な方式では、改善効果幅やコスト面における非効率性が問題となるであろう。生産地域や方式が一度決定すれば、その変更は容易ではない。環境的要素が生産物の評価基準の優先順位として高くなれば、生産計画の段階において LCA を実行することがますます重要となる。ところが、現行の製品に対する LCA は詳細な積み上げ法によることが多く、LCI 分析に労力を費やしている。本研究では、生産地域が製品に関する環境負荷量を左右することに着目し、低環境負荷という側面から簡易に生産地域を選択する手法を提示したが、精度としては非常に粗く、実用に向けて改善する余地は大きい。しかし、事前評価に適した LCA 手法が開発されない限り、LCA が製品の一時的な評価で終わり、実際に環境負荷低減へ向かわせるという本来の機能が働かないことが懸念される。LCA はその結果が環境改善へ利用されなければ本質的な意味をなさない。今後、設計や計画段階の曖昧な状況の中でも、信頼に足る程度の精度を有し、生産プロセスに変更があっても、容易に再計算可能な LCA 手法の開発に取り組む必要がある。

一方, LCA を製品開発プロセスの選択や政策的な意思決定に用いるには, 信頼性の問題を克服しなければならない。本研究では原単位の“確からしさ”について統計表のばらつきを考慮した相対誤差を示すという, 一つの指標を記すことを試みたが, 原単位誤差の試算にあたり, 偶然誤差と系統誤差の定義, 本推計値を平均すること, 各部門の排出量の変動が無相関であるなど多くの仮定を設けた。さらに, 部門別直接環境負荷量の誤差と, 各部門における原燃料種に関する投入係数の不確実性とは無関係としたが, 今後はそれらを包括的に分析することが必要であろう。産業連関表による原単位の算出には, 約 400 部門について燃料消費量等を推計しなければならない。その際には, 可能な限り実態の反映に努めることが必要であるが, 消費量の推計を正確に行うことは極めて困難であることから, 原単位の誤差は避けられない。複数の機関から公表されている如何なる原単位を用いても, 普遍的な LCI 分析結果の解釈が行えるよう不確実性の定量化手法の確立が課題である。

謝 辞

本研究は, 京都大学大学院エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻 エネルギー環境学分野(笠原研究室)において, 筆者が行ってきた研究の成果をとりまとめたものであります。

本研究を遂行するにあたり, 京都大学大学院エネルギー科学研究科教授 笠原三紀夫先生には自由に発想し挑戦する環境を与えて頂くとともに, 終始あたたかくご指導とご助言を賜りました。笠原先生の教育研究方針とお人柄のもと, 笠原研は本当に楽しい研究室だったと幸せに感じております。ここに, 心より深く感謝申し上げます。

京都大学大学院エネルギー科学研究科助教授 東野 達先生には, LCA 研究のスタート時から一貫して懇切丁寧なご指導を頂きました。何度も何度も東野先生のお部屋に伺い, 研究方法, 論文作成に関して多くのご助言を賜りましたことに, 心より感謝の意を表します。

また, 京都大学大学院エネルギー科学研究科教授で筆者が入学した時の初代研究科長であられた 新宮秀夫先生にはご講義と論文審査を通じて“エネルギー科学”という学問領域において研鑽を積むことの重要性をご教授いただきました。ここに, 厚く御礼申し上げます。

そして, 京都大学大学院エネルギー科学研究科助手 山本浩平先生, 秘書の石井さんには研究室の環境を整えていただき快く研究生活を送ることができましたことを感謝申し上げます。一緒に研究室で過ごしたP.D.の Robertさん, 同じ博士課程の村上さん, 岩渕君, 馬さん, 大西君, 朴さん, 川村さん, 修士課程 2 年生の安座間君, 曹さん, 中村君, 仁井本君, 福元君, 山内君, 1 年生の青山君, 井ノ口さん, 角野さん, 黒木さん, 野田君, 堀内君, 矢部君, 4 回生の伊藤君, 小林君, 長澤君, 山崎君, 卒業生の篠原さん, 植田さん, 北村さん, 茶谷君, 荒木君, 中川君, 吉田君, 鷹野君, ソウ君, 山田君, 公野君, 星野君, 永安君, 明石さん, 浅井さん, 林君, 藪下さん, 楽しさ一杯に溢れた宇治でした。ありがとうございました。

本研究は, 国立環境研究所社会環境システム部資源管理研究室長で研究室の先輩でもあられる森口祐一博士による深夜, 明け方までに及ぶ, 環境研での格別なご指導に支えられてきました。その中で, 研究の厳しさと楽しさを肌で感じながら多くの知見をご教授いただきました。切に感謝の意を込め御礼申し上げます。また, 国立環境研究所では田邊 潔博士, 近藤美則博士, 寺園 淳博士, 松橋啓介博士のほか, 秘書の方々を始め多くの方々に大変お世話になりました。大変感謝申し上げます。

最後に, この場を借りて, 筆者に進学と研究の機会を与えてくれた両親と妹の歩未に, ありがとうと伝えます。

関連論文リスト

~第2章, 第3章~

原著論文

- ・ 南齋規介, 安座間信暁, 東野 達, 森口祐一, 笠原三紀夫(2000), 産業連関表を用いたわが国における人為起源の粒子状物質排出量の推計と解析, エアロゾル研究, **15**, 353-363.

口頭発表講演論文

- ・ 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫, 森口祐一(1998), 産業連関表によるエネルギー消費と大気環境負荷から見たインベントリー分析, 第14回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.203-208, 東京.
- ・ 安座間信暁, 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫(1999), LCI 分析に向けた元素状炭素粒子の排出インベントリーの構築, 第18回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp.263-268, 東京.
- ・ 南齋規介, 森口祐一, 東野 達, 笠原三紀夫(2000), 平成7年産業連関表によるCO₂排出強度の算出と平成2年値との比較解析, 第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.339-344, 東京.
- ・ 安座間信暁, 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫, 森口祐一(2000), 粒子状大気汚染物質の起源別排出量の推定と解析, 第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.124-134, 東京.
- ・ 森口祐一, 近藤美則, 南齋規介, 東野 達(2000), 平成7年産業連関表等を用いた近年のCO₂排出構造変化の分析, 第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.73-78, 東京.
- ・ 南齋規介, 森口祐一, 東野 達, 笠原三紀夫(2001), 部門別大気環境負荷データベースの構築とその技術的課題, 第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.75-80, 東京.
- ・ 外岡 豊, 本藤祐樹, 神成陽容, 森口祐一, 南齋規介(2001), LCA への基礎解析—1995年産業連関表による大気汚染物質誘発排出分析, 第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.193-198, 東京.

~第4章~

原著論文

- ・ 南齋規介, 公野元貴, 東野 達, 笠原三紀夫, 森口祐一(2000), 電気自動車のインフラストラク

チャーに関するライフサイクル分析, エネルギー・資源, **21**, 75-82.

- ・ 公野元貴, 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫(2001), 充電時の地域特性を考慮した電気自動車の環境負荷低減効果の分析, エネルギー・資源, **22**(印刷中).

国際会議議事録

- ・ Nansai, K., Tohno, S., Kasahara, M., Moriguchi, Y.(1998), Life Cycle Analysis of Automobiles with Regard to Air Pollutants Emissions in Japan, Proceedings of The Third International Conference on EcoBalance, pp.299-302, Tsukuba.

口頭発表講演論文

- ・ 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫, 森口祐一(1999), インフラストラクチャーを考慮した電気自動車のインベントリー分析, 第18回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp.281-286, 東京.
- ・ 公野元貴, 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫(2000), 充電時の地域性と利用形態を反映した電気自動車の環境負荷評価, 第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.549-554, 東京.

~第5章~

国際会議議事録

- ・ Nansai, K., Tohno, S., Kasahara, M., Moriguchi, Y.(2000), Relationship between Location of Manufacturing Industry and Environmental Loads of the Product, Proceedings of The Fourth International Conference on EcoBalance, pp.401-404, Tsukuba.

口頭発表講演論文

- ・ 山内崇弘, 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫(2001), 大気環境負荷の地域間相互誘発構造, 第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.81-86, 東京.

~第6章~

原著論文

- ・ 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫, 産業連関表によるCO₂排出原単位の誤差とライフサイクルインベントリ分析の信頼性評価, エネルギー・資源(投稿中).

口頭発表講演論文

- ・ 南齋規介, 東野 達, 笠原三紀夫, 森口祐一(2000), 産業連関表を用いたLCI分析結果の精度, 第19回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文, pp.63-68, 大阪.

付録目次

付録1 1995 年 エネルギー・大気環境負荷原単位 (I-A)⁻¹ 型.....A1

付録2 1995 年 エネルギー・大気環境負荷原単位 (I-(I-M)A)⁻¹ 型.....A11

付録1 1995年 エネルギー・大気環境負荷原単位 (I-A)⁻¹型

- ・エネルギー原単位A (GJ/百万円・生産者価格)

・CO₂排出原単位A (Mg-CO₂/百万円・生産者価格)

・NO_x 排出原単位 (kg/百万円・生産者価格)

・PM排出原単位 (kg/百万円・生産者価格)
- ・エネルギー原単位B (10⁷kcal/百万円・生産者価格)

・CO₂排出原単位B (t-C/百万円・生産者価格)

・SO_x 排出原単位 (kg/百万円・生産者価格)

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー 原単位A (I-A) ⁻¹ 型	エネルギー 原単位B (I-A) ⁻¹ 型	CO ₂ 排出 原単位A (I-A) ⁻¹ 型	CO ₂ 排出 原単位B (I-A) ⁻¹ 型	NO _x 排出 原単位 (I-A) ⁻¹ 型	SO _x 排出 原単位 (I-A) ⁻¹ 型	PM排出 原単位 (I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ⁷ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
11101	1	米	20.49	0.490	1.41	0.386	4.99	1.48	4.39
11102	2	麦類	34.38	0.821	2.38	0.648	7.42	2.32	5.48
11201	3	いも類	23.34	0.558	1.62	0.442	6.51	1.87	0.87
11202	4	豆類	23.71	0.566	1.65	0.451	6.12	1.92	0.65
11301	5	野菜	31.20	0.745	2.14	0.582	7.96	4.68	1.08
11401	6	果実	18.70	0.447	1.28	0.350	4.36	1.79	1.39
11501	7	砂糖原料作物	26.18	0.626	1.82	0.496	6.05	2.04	0.71
11502	8	飲料用作物	26.32	0.629	1.84	0.502	5.37	2.32	0.71
11509	9	その他の食用耕種作物	29.13	0.696	2.02	0.550	9.69	2.65	0.77
11601	10	飼料作物	22.17	0.530	1.55	0.422	5.33	1.55	0.60
11602	11	種苗	27.50	0.657	1.88	0.512	6.21	3.69	0.68
11603	12	花き・花木類	52.80	1.261	3.62	0.988	12.09	8.13	1.28
11609	13	その他の非食用耕種作物	22.85	0.546	1.57	0.429	5.10	1.53	0.66
12101	14	酪農	21.67	0.518	1.50	0.408	5.99	2.22	0.84
12102	15	鶏卵	38.48	0.919	2.63	0.718	11.80	5.04	2.00
12103	16	肉鶏	41.17	0.983	2.82	0.768	11.30	4.85	3.38
12104	17	豚	32.97	0.788	2.26	0.617	9.93	4.30	1.63
12105	18	肉用牛	27.86	0.666	1.92	0.523	8.38	3.14	1.43
12109	19	その他の畜産	15.45	0.369	1.07	0.291	4.45	1.71	0.56
12201	20	養蚕	32.35	0.773	2.23	0.607	5.76	2.00	2.81
13101	21	獣医薬業	38.43	0.918	2.60	0.709	4.33	1.24	0.75
13102	22	農業サービス(除獣医薬)	46.15	1.103	3.11	0.849	6.49	2.40	11.21
21101	23	育林	14.23	0.340	0.97	0.265	3.74	0.86	0.25
21201	24	素材	25.19	0.602	1.72	0.468	9.46	1.43	0.62
21301	25	特用林産物(含狩猟業)	81.03	1.936	5.51	1.504	16.89	8.42	1.88
31101	26	海面漁業	125.56	2.999	8.73	2.380	114.47	64.92	8.65
31104	27	海面養殖業	87.01	2.079	6.03	1.645	65.32	40.36	5.52
31201	28	内水面漁業	54.38	1.299	3.70	1.009	15.55	5.75	1.28
61101	29	金属鉱物	68.50	1.636	4.90	1.337	13.86	5.68	1.28
62101	30	窯業原料鉱物	71.84	1.716	4.99	1.360	30.69	4.91	2.40
62201	31	砂利・採石	57.21	1.367	3.91	1.066	22.61	3.55	2.34
62202	32	砕石	61.14	1.461	4.21	1.147	22.92	4.02	2.36
62909	33	その他の非金属鉱物	66.62	1.592	4.58	1.249	24.57	4.65	2.09
71101	34	石炭	74.02	1.768	5.73	1.562	9.97	6.01	0.79

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
72101	35	原油・天然ガス	28.06	0.670	2.02	0.551	3.12	1.69	0.29
111101	36	と畜(含肉鶏処理)	30.43	0.727	2.09	0.569	8.79	3.47	1.68
111201	37	肉加工品	29.26	0.699	1.98	0.541	6.04	3.11	0.99
111202	38	畜産びん・かん詰	38.82	0.927	2.74	0.748	7.28	5.40	1.05
111203	39	動物油脂	71.82	1.716	4.99	1.360	8.66	15.24	1.56
111204	40	酪農品	38.99	0.931	2.65	0.724	6.05	5.82	0.87
111301	41	冷凍魚介類	75.53	1.804	5.23	1.427	61.05	34.46	4.66
111302	42	塩・干・くん製品	61.05	1.458	4.20	1.146	37.78	22.00	2.99
111303	43	水産びん・かん詰	65.61	1.567	4.69	1.278	27.50	18.65	2.41
111304	44	ねり製品	45.07	1.077	3.03	0.826	17.85	10.46	1.58
111305	45	魚油・魚かす	90.79	2.169	6.31	1.721	51.52	34.15	4.23
111309	46	その他の水産食品	46.25	1.105	3.18	0.866	25.22	15.10	2.13
111401	47	精穀	24.15	0.577	1.65	0.451	6.13	1.92	3.81
111402	48	製粉	32.36	0.773	2.20	0.601	6.33	2.69	2.09
111501	49	めん類	38.23	0.913	2.60	0.709	6.13	4.35	1.07
111502	50	パン類	33.10	0.791	2.19	0.598	4.85	3.19	0.87
111503	51	菓子類	34.10	0.815	2.28	0.621	4.69	4.13	0.75
111601	52	農産びん・かん詰	48.89	1.168	3.48	0.950	6.94	6.73	0.98
111602	53	農産保存食料品(除びん・かん詰)	32.19	0.769	2.20	0.601	5.55	3.98	0.75
111701	54	砂糖	87.47	2.090	5.99	1.633	11.19	23.97	1.92
111702	55	でん粉	70.71	1.689	4.77	1.301	9.62	9.89	1.30
111703	56	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	128.17	3.062	8.88	2.423	14.68	28.44	2.35
111704	57	植物油脂	51.95	1.241	3.54	0.966	8.20	6.84	1.01
111705	58	調味料	44.42	1.061	3.05	0.831	6.67	6.01	0.97
111901	59	冷凍調理食品	36.60	0.874	2.46	0.670	8.38	5.47	1.06
111902	60	レトルト食品	36.98	0.884	2.45	0.669	6.52	5.17	0.92
111903	61	そう菜・すし・弁当	30.75	0.735	2.06	0.563	6.83	4.01	1.06
111904	62	学校給食(国公立)★★	26.42	0.631	1.71	0.465	4.66	2.55	0.68
111905	63	学校給食(私立)★	27.08	0.647	1.75	0.478	4.89	2.68	0.70
111909	64	その他の食料品	43.26	1.033	2.89	0.789	5.79	5.45	0.89
112101	65	清酒	23.07	0.551	1.55	0.423	4.04	2.60	1.25
112102	66	ビール	21.08	0.504	1.42	0.387	2.82	2.28	0.35
112103	67	添加用アルコール	111.18	2.656	7.68	2.095	12.14	27.18	2.18
112104	68	ウイスキー類	20.31	0.485	1.35	0.369	3.01	2.12	0.35
112109	69	その他の酒類	39.82	0.951	2.74	0.746	5.95	8.87	1.04
112901	70	茶・コーヒー	26.89	0.642	1.81	0.495	4.17	2.11	0.53
112902	71	清涼飲料	40.36	0.964	2.83	0.772	5.43	4.70	0.74
112903	72	製氷	60.62	1.448	4.16	1.134	4.39	2.95	0.49
113101	73	飼料	43.16	1.031	2.97	0.809	10.84	6.23	1.18
113102	74	有機質肥料(除別掲)	46.09	1.101	3.19	0.870	11.57	10.09	1.37
114101	75	たばこ	8.26	0.197	0.56	0.152	1.26	0.86	0.17
151101	76	製糸	34.90	0.834	2.41	0.657	5.25	3.94	1.89
151102	77	紡績糸	57.75	1.380	4.04	1.102	7.25	6.82	0.98
151201	78	綿・スフ織物(含合繊短織物)	64.58	1.543	4.50	1.228	8.62	8.46	1.18
151202	79	絹・人絹織物(含合繊長織物)	71.50	1.708	5.02	1.370	8.88	8.64	1.24

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
151203	80	毛織物・麻織物・その他の織物	60.15	1.437	4.19	1.143	7.88	8.55	1.22
151301	81	ニット生地	54.57	1.304	3.82	1.042	6.74	5.79	0.85
151401	82	染色整理	92.63	2.213	6.49	1.770	12.01	15.53	2.15
151901	83	絹・絹	68.62	1.639	4.81	1.311	9.09	7.40	1.05
151902	84	じゅうたん・床敷物	60.12	1.436	4.18	1.140	7.22	6.68	1.00
151903	85	繊維製衛生材料	40.52	0.968	2.61	0.712	5.14	3.84	0.78
151909	86	その他の繊維工業製品	55.56	1.327	3.84	1.047	7.04	7.42	1.05
152101	87	織物製衣服	34.02	0.813	2.35	0.640	4.71	4.06	0.65
152102	88	ニット製衣服	40.02	0.956	2.77	0.754	5.42	4.37	0.70
152209	89	その他の衣服・身の回り品	50.71	1.211	3.50	0.956	7.41	6.55	0.95
152901	90	寝具	37.84	0.904	2.59	0.707	5.83	4.71	0.80
152909	91	その他の繊維既製品	33.55	0.801	2.31	0.630	4.63	3.66	0.59
161101	92	製材	26.55	0.634	1.81	0.494	7.82	1.61	0.66
161102	93	合板	35.97	0.859	2.45	0.669	6.87	3.28	0.81
161103	94	木材チップ	26.82	0.641	1.83	0.498	7.77	1.57	0.65
161909	95	その他の木製品	28.35	0.677	1.94	0.530	5.51	2.23	0.63
171101	96	木製家具・装備品	29.74	0.711	2.06	0.563	5.15	2.49	0.60
171102	97	木製建具	32.78	0.783	2.23	0.607	5.81	2.81	0.75
171103	98	金属製家具・装備品	48.61	1.161	3.84	1.046	5.87	3.31	0.77
181101	99	パルプ	228.26	5.453	10.05	2.742	21.86	26.80	5.47
181201	100	洋紙・和紙	218.24	5.214	11.17	3.047	20.39	21.72	4.68
181202	101	板紙	202.41	4.835	11.91	3.248	19.84	20.20	4.35
181301	102	段ボール	123.35	2.947	7.39	2.017	13.56	12.87	2.88
181302	103	塗工紙・建設用加工紙	87.35	2.087	5.16	1.407	9.53	7.49	2.02
182101	104	段ボール箱	61.20	1.462	3.78	1.032	7.35	6.73	1.42
182109	105	その他の紙製容器	64.60	1.543	3.77	1.028	7.23	6.04	1.36
182901	106	紙製衛生材料・用品	66.37	1.585	4.08	1.112	7.41	10.54	1.21
182909	107	その他のパルプ・紙・紙加工品	68.81	1.644	4.01	1.094	7.42	6.85	1.35
191101	108	新聞	51.72	1.236	2.86	0.780	5.90	4.50	1.05
191102	109	印刷・製版・製本	44.90	1.073	2.59	0.706	4.72	3.78	0.83
191103	110	出版	37.96	0.907	2.17	0.592	4.65	3.13	0.76
201101	111	アンモニア	619.18	14.792	37.17	10.138	45.07	9.46	3.23
201102	112	化学肥料	114.89	2.745	8.17	2.227	11.62	6.42	2.13
202101	113	ソーダ工業製品	218.22	5.213	17.64	4.810	29.41	29.50	7.25
202901	114	無機顔料	104.46	2.495	7.67	2.092	11.73	9.73	1.79
202902	115	圧縮ガス・液化ガス	129.20	3.086	8.82	2.407	8.17	6.40	1.03
202903	116	塩	325.67	7.780	26.23	7.153	56.89	48.93	15.24
202909	117	その他の無機化学工業製品	109.07	2.606	8.30	2.264	14.63	12.22	3.47
203101	118	石油化学基礎製品	270.23	6.456	17.98	4.904	17.33	12.90	2.62
203102	119	石油化学系芳香族製品	287.87	6.877	18.07	4.928	17.03	8.88	2.32
203201	120	脂肪族中間物	201.32	4.809	14.21	3.876	17.70	16.81	2.49
203202	121	環式中間物	197.49	4.718	13.00	3.546	15.50	11.53	2.23
203301	122	合成ゴム	166.51	3.978	12.13	3.307	15.86	19.95	2.84
203901	123	メタン誘導品	204.94	4.896	12.80	3.491	16.42	13.79	2.96
203902	124	油脂加工製品	55.76	1.332	3.67	1.002	5.79	4.98	0.88

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ⁷ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
203903	125	可塑剤	159.69	3.815	10.64	2.902	13.53	9.18	1.87
203904	126	合成染料	131.00	3.129	8.93	2.436	12.94	9.67	2.12
203909	127	その他の有機化学工業製品	132.84	3.173	9.28	2.530	12.59	9.10	1.79
204101	128	熱硬化性樹脂	122.25	2.920	8.78	2.395	11.22	8.84	1.57
204102	129	熱可塑性樹脂	184.56	4.409	12.41	3.385	14.93	12.48	2.23
204103	130	高機能性樹脂	132.91	3.175	8.91	2.431	12.37	9.92	1.82
204109	131	その他の合成樹脂	193.88	4.632	12.72	3.469	16.05	11.29	2.25
205101	132	レーヨン・アセテート	176.07	4.206	12.28	3.350	20.47	28.74	3.00
205102	133	合成繊維	130.94	3.128	9.39	2.560	13.40	12.70	1.58
206101	134	医薬品	32.23	0.770	2.21	0.603	3.94	2.53	0.53
207101	135	石けん・合成洗剤・界面活性剤	61.19	1.462	4.14	1.130	6.80	4.64	1.06
207102	136	化粧品・歯磨	36.24	0.866	2.43	0.664	4.58	3.07	0.59
207201	137	塗料	70.90	1.694	4.97	1.355	7.59	5.43	1.05
207202	138	印刷インキ	75.49	1.803	5.23	1.427	7.91	5.71	1.08
207301	139	写真感光材料	50.64	1.210	3.32	0.906	6.15	5.40	0.96
207401	140	農薬	71.66	1.712	5.02	1.368	9.10	8.95	1.26
207901	141	ゼラチン・接着剤	80.62	1.926	5.62	1.532	8.90	7.75	1.23
207909	142	その他の化学最終製品	76.31	1.823	5.25	1.432	9.11	8.37	1.19
211101	143	石油製品	67.10	1.603	4.03	1.098	6.14	4.37	0.79
212101	144	石炭製品	309.78	7.400	24.45	6.667	44.08	29.30	3.63
212102	145	舗装材料	50.95	1.217	3.41	0.931	7.71	5.54	1.07
221101	146	プラスチック製品	69.25	1.654	4.70	1.282	6.76	5.29	0.94
231101	147	タイヤ・チューブ	75.28	1.798	5.35	1.459	8.71	8.63	1.41
231901	148	ゴム製履物	32.96	0.787	2.26	0.615	4.03	3.26	0.56
231902	149	プラスチック製履物	46.14	1.102	3.19	0.871	5.45	4.26	0.74
231909	150	その他のゴム製品	51.10	1.221	3.60	0.982	5.39	5.31	0.82
241101	151	革製履物	25.49	0.609	1.74	0.473	3.91	2.85	0.55
241201	152	製革・毛皮	47.37	1.132	3.27	0.891	7.71	7.28	1.30
241202	153	かばん・袋物・その他の革製品	31.80	0.760	2.18	0.593	4.45	3.19	0.61
251101	154	板ガラス・安全ガラス	78.43	1.874	5.53	1.508	25.14	10.84	1.47
251201	155	ガラス繊維・同製品	86.62	2.069	5.81	1.584	21.17	6.96	1.79
251909	156	その他のガラス製品	85.61	2.045	5.81	1.583	23.52	8.83	1.61
252101	157	セメント	532.95	12.732	110.38	30.103	181.91	17.34	6.80
252201	158	生コンクリート	137.52	3.285	23.75	6.478	50.06	6.99	2.73
252301	159	セメント製品	77.81	1.859	10.72	2.925	22.50	5.80	1.66
253101	160	陶磁器	59.40	1.419	3.92	1.068	9.22	4.41	0.93
259901	161	耐火物	90.71	2.167	7.04	1.919	14.40	10.69	1.85
259902	162	その他の建設用土石製品	102.63	2.452	7.01	1.911	12.24	13.11	2.48
259903	163	炭素・黒鉛製品	90.17	2.154	6.78	1.850	13.26	9.48	2.01
259904	164	研磨材	48.93	1.169	3.59	0.980	7.40	4.41	0.88
259909	165	その他の窯業・土石製品	80.16	1.915	6.20	1.690	13.44	4.44	2.28
261101	166	鉄鉄	1022.38	24.424	102.11	27.848	58.62	37.40	12.61
261102	167	フェアラロイ	394.58	9.426	35.63	9.717	62.46	35.35	3.68
261103	168	粗鋼(転炉)	480.31	11.474	47.92	13.069	33.44	20.57	6.30
261104	169	粗鋼(電気炉)	157.15	3.754	14.26	3.890	24.29	12.37	1.72

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ⁷ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
261201	170	鉄屑	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
262101	171	熱間圧延鋼材	273.60	6.536	25.92	7.069	23.62	13.35	3.48
262201	172	鋼管	166.19	3.970	14.72	4.015	14.87	9.14	2.09
262301	173	冷間仕上鋼材	177.70	4.245	15.73	4.291	15.76	9.73	2.16
262302	174	めっき鋼材	119.95	2.866	9.81	2.677	11.70	7.10	1.38
263101	175	鋳鍛鋼	143.14	3.419	12.67	3.455	13.28	14.20	1.69
263102	176	鋳鉄管	118.55	2.832	10.55	2.876	9.85	8.83	1.55
263103	177	鋳鉄品及び鍛工品(鉄)	180.61	4.314	16.86	4.598	12.51	14.79	2.36
264901	178	鉄鋼シャースリット業	132.96	3.176	11.98	3.266	13.22	7.35	1.76
264909	179	その他の鉄鋼製品	94.36	2.254	8.23	2.244	11.25	5.99	1.46
271101	180	銅	68.49	1.636	5.12	1.395	13.92	15.60	1.11
271102	181	鉛・亜鉛(含再生)	121.34	2.899	9.60	2.617	15.20	21.27	1.28
271103	182	アルミニウム(含再生)	82.74	1.977	6.15	1.678	19.86	12.36	1.60
271109	183	その他の非鉄金属地金	64.48	1.540	4.69	1.278	14.65	7.70	1.11
271201	184	非鉄金属屑	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
272101	185	電線・ケーブル	46.05	1.100	3.24	0.883	6.85	6.05	0.68
272102	186	光ファイバケーブル	40.23	0.961	2.75	0.750	5.48	3.03	0.64
272201	187	伸銅品	41.75	0.997	2.95	0.805	6.81	5.76	0.77
272202	188	アルミ圧延製品	58.33	1.393	4.17	1.136	11.74	7.20	1.08
272203	189	非鉄金属素形材	56.20	1.342	4.35	1.188	10.42	6.63	1.36
272204	190	核燃料	51.41	1.228	3.72	1.015	9.83	5.64	0.89
272209	191	その他の非鉄金属製品	48.97	1.170	3.54	0.965	7.92	5.36	0.68
281101	192	建設用金属製品	74.44	1.778	6.55	1.785	7.93	4.31	1.03
281201	193	建築用金属製品	48.15	1.150	3.76	1.026	6.80	3.74	0.72
289101	194	ガス・石油機器及び暖房機器	60.41	1.443	5.04	1.376	6.81	3.72	0.87
289901	195	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	73.27	1.750	6.18	1.686	7.53	4.12	0.95
289902	196	金属製容器及び製缶板金製品	60.86	1.454	4.89	1.334	6.77	3.55	0.80
289903	197	配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	54.36	1.299	4.31	1.176	5.92	3.32	0.70
289909	198	その他の金属製品	49.31	1.178	3.95	1.077	5.28	2.94	0.62
301101	199	ボイラ	36.65	0.875	2.95	0.804	4.52	2.52	0.55
301102	200	タービン	36.19	0.864	2.90	0.792	4.19	2.46	0.52
301103	201	原動機	45.53	1.088	3.73	1.017	5.28	3.22	0.67
301201	202	運搬機械	37.88	0.905	3.09	0.842	4.37	2.51	0.55
301301	203	冷凍機・温湿調整装置	35.57	0.850	2.77	0.754	4.12	2.64	0.53
301901	204	ポンプ及び圧縮機	49.26	1.177	4.11	1.122	5.38	3.60	0.74
301902	205	機械工具	46.92	1.121	3.88	1.058	5.51	3.17	0.69
301909	206	その他の一般産業機械及び装置	43.41	1.037	3.57	0.975	4.99	2.93	0.64
302101	207	鉱山・土木建設機械	47.27	1.129	3.91	1.067	5.33	3.37	0.69
302201	208	化学機械	35.12	0.839	2.84	0.776	4.02	2.42	0.52
302301	209	産業用ロボット	27.46	0.656	2.14	0.582	3.12	1.83	0.39
302401	210	金属工作機械	34.32	0.820	2.81	0.766	3.70	2.35	0.48
302402	211	金属加工機械	36.10	0.862	2.95	0.803	3.81	2.42	0.49
302901	212	農業機械	45.98	1.098	3.72	1.015	5.13	3.18	0.67
302902	213	繊維機械	37.76	0.902	3.06	0.834	4.18	2.64	0.55
302903	214	食料品加工機械	45.28	1.082	3.78	1.030	5.04	2.89	0.63

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー		CO ₂ 排出		NO _x 排出		SO _x 排出		PM排出	
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
302904	215	半導体製造装置	31.99	0.764	2.49	0.680	3.71	2.18			0.47	
302909	216	その他の特殊産業機械	33.01	0.789	2.62	0.715	3.81	2.32			0.49	
303101	217	金型	43.20	1.032	3.69	1.005	4.55	3.10			0.62	
303102	218	ベアリング	65.49	1.564	5.56	1.516	6.59	3.69			0.86	
303109	219	その他の一般機械器具及び部品	45.84	1.095	3.77	1.028	5.32	3.38			0.68	
311101	220	複写機	29.55	0.706	2.11	0.576	3.76	2.27			0.46	
311109	221	その他の事務用機械	27.01	0.645	1.89	0.515	3.40	1.99			0.41	
311201	222	サービス用機器	27.33	0.653	2.06	0.561	3.45	1.89			0.42	
321101	223	電気音響機器	27.59	0.659	1.95	0.532	3.38	1.98			0.41	
321102	224	ラジオ・テレビ受信機	27.23	0.650	1.91	0.521	3.57	2.02			0.41	
321103	225	ビデオ機器	25.52	0.610	1.82	0.496	3.16	1.85			0.37	
321201	226	民生用電気機器	32.10	0.767	2.35	0.640	3.86	2.32			0.48	
331101	227	電子計算機本体	21.65	0.517	1.49	0.406	2.77	1.55			0.32	
331102	228	電子計算機付属装置	24.87	0.594	1.73	0.471	3.08	1.75			0.36	
332101	229	有線電気通信機器	25.51	0.609	1.77	0.484	3.17	1.92			0.38	
332102	230	無線電気通信機器	24.72	0.591	1.72	0.468	3.10	1.85			0.37	
332109	231	その他の電気通信機器	22.73	0.543	1.60	0.437	2.77	1.59			0.33	
333101	232	電子応用装置	21.21	0.507	1.47	0.401	2.75	1.48			0.31	
333201	233	電気計測器	21.42	0.512	1.53	0.418	2.70	1.53			0.33	
334101	234	半導体素子・集積回路	27.06	0.646	1.86	0.507	2.96	1.84			0.33	
335901	235	電子管	41.21	0.984	2.82	0.770	7.67	3.50			0.65	
335902	236	液晶素子	34.87	0.833	2.40	0.653	4.78	2.57			0.47	
335903	237	磁気テープ・磁気ディスク	47.03	1.123	3.21	0.875	5.05	3.44			0.67	
335909	238	その他の電子部品	24.65	0.589	1.71	0.467	3.00	1.77			0.34	
341101	239	回転電気機械	39.89	0.953	3.13	0.854	4.45	2.84			0.56	
341102	240	開閉制御装置及び配電盤	28.35	0.677	2.14	0.584	3.37	2.06			0.41	
341103	241	変圧器・変成器	35.98	0.860	2.76	0.752	4.35	2.64			0.55	
341109	242	その他の産業用重電機器	29.99	0.716	2.19	0.598	3.57	2.25			0.45	
342101	243	電気照明器具	34.90	0.834	2.50	0.682	4.20	2.40			0.50	
342102	244	電池	42.52	1.016	3.07	0.837	5.36	3.83			0.61	
342103	245	電球類	35.18	0.840	2.39	0.652	5.09	2.62			0.52	
342104	246	配線器具	31.71	0.757	2.31	0.629	3.79	2.33			0.46	
342105	247	内燃機関電装品	33.12	0.791	2.53	0.689	3.97	2.37			0.48	
342109	248	その他の電気機械器具	37.21	0.889	2.64	0.719	4.91	2.94			0.49	
351101	249	乗用車	36.52	0.873	2.75	0.749	4.77	2.83			0.56	
352101	250	トラック・バス・その他の自動車	37.57	0.898	2.82	0.768	4.78	2.91			0.58	
353101	251	二輪自動車	36.09	0.862	2.71	0.740	4.43	2.73			0.55	
354101	252	自動車車体	48.36	1.155	3.89	1.062	5.41	3.20			0.68	
354102	253	自動車用内燃機関・同部分品	37.69	0.900	2.88	0.785	4.18	2.80			0.53	
354103	254	自動車部品	41.78	0.998	3.23	0.881	4.67	3.08			0.61	
361101	255	鋼船	56.37	1.347	4.76	1.299	5.97	3.48			0.78	
361102	256	その他の船舶	41.08	0.981	3.05	0.832	4.82	2.70			0.58	
361103	257	船用内燃機関	47.17	1.127	3.84	1.046	5.02	3.43			0.66	
361110	258	船舶修理	45.77	1.093	3.83	1.046	5.01	2.99			0.66	
362101	259	鉄道車両	52.50	1.254	4.26	1.162	6.30	3.49			0.76	

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー		CO ₂ 排出		NO _x 排出		SO _x 排出		PM排出	
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
362110	260	鉄道車両修理	53.13	1.269	4.30	1.174	5.48	6.02			0.93	
362201	261	航空機	22.21	0.531	1.58	0.430	2.92	1.61			0.33	
362210	262	航空機修理	16.88	0.403	1.19	0.325	2.26	1.21			0.25	
362901	263	自転車	29.94	0.715	2.23	0.608	3.45	2.12			0.44	
362909	264	その他の輸送機械	38.48	0.919	3.08	0.841	4.46	2.70			0.56	
371101	265	カメラ	23.60	0.564	1.61	0.438	2.97	1.75			0.34	
371109	266	その他の光学機械	30.65	0.732	2.12	0.579	4.71	2.30			0.44	
371201	267	時計	26.77	0.640	1.89	0.514	3.84	2.06			0.41	
371901	268	理化学機械器具	27.29	0.652	2.00	0.545	3.36	1.84			0.40	
371902	269	分析器・試験機・計量器・測定器	25.94	0.620	1.89	0.515	3.41	1.78			0.39	
371903	270	医療用機械器具	29.91	0.714	2.12	0.579	3.59	2.23			0.44	
391101	271	玩具	30.93	0.739	2.08	0.568	4.70	2.39			0.57	
391102	272	運動用品	42.75	1.021	2.99	0.815	6.06	3.55			0.75	
391901	273	楽器	27.14	0.648	1.86	0.506	4.24	1.94			0.49	
391902	274	情報記録物	36.62	0.875	2.44	0.664	4.58	2.61			0.56	
391903	275	筆記具・文具	34.34	0.820	2.37	0.646	4.83	2.50			0.62	
391904	276	身辺細貨品	45.75	1.093	3.14	0.857	14.90	7.81			1.37	
391905	277	量・おろ加工品	20.62	0.493	1.41	0.385	4.77	1.50			1.90	
391906	278	武器	33.54	0.801	2.50	0.683	4.86	2.78			0.58	
391909	279	その他の製造工業製品	39.18	0.936	2.70	0.735	6.13	3.62			0.73	
411101	280	住宅建築(木造)	24.70	0.590	1.94	0.528	4.97	1.69			0.54	
411102	281	住宅建築(非木造)	33.84	0.808	2.90	0.791	6.19	2.15			0.72	
411201	282	非住宅建築(木造)	25.33	0.605	2.08	0.566	5.13	1.71			0.54	
411202	283	非住宅建築(非木造)	34.79	0.831	2.99	0.816	6.17	2.19			0.73	
412101	284	建設補修	33.24	0.794	2.77	0.756	6.06	2.27			0.76	
413101	285	道路関係公共事業	39.51	0.944	3.69	1.007	11.51	2.62			1.26	
413102	286	河川・下水道・その他の公共事業	36.31	0.867	3.62	0.986	9.77	2.32			0.98	
413103	287	農林関係公共事業	40.01	0.956	3.73	1.018	14.03	2.51			1.48	
413201	288	鉄道軌道建設	41.37	0.988	4.17	1.136	9.78	2.82			0.93	
413202	289	電力施設建設	31.86	0.761	2.72	0.742	7.08	2.20			0.74	
413203	290	電気通信施設建設	27.86	0.666	2.35	0.641	5.91	2.10			0.62	
413209	291	その他の土木建設	39.94	0.954	3.82	1.043	10.43	2.67			1.08	
511101	292	事業用電力	323.94	7.739	22.07	6.020	16.98	13.52			1.60	
511104	293	自家発電	806.74	19.272	65.38	17.831	87.35	74.12			4.16	
512101	294	都市ガス	23.74	0.567	1.51	0.413	3.17	1.40			0.32	
512201	295	熱供給業	158.98	3.798	10.70	2.919	11.60	14.40			1.31	
521101	296	上水道・簡易水道	31.38	0.750	2.18	0.595	2.47	1.62			0.30	
521102	297	工業用水	34.23	0.818	2.36	0.644	2.69	1.61			0.30	
521103	298	下水道★★	83.92	2.005	5.89	1.605	6.24	14.31			1.54	
521201	299	廃棄物処理(公営)★★	319.26	7.627	10.90	2.973	15.13	2.59			9.68	
521202	300	廃棄物処理(産業)	90.99	2.174	7.52	2.051	6.28	2.22			1.21	
611101	301	卸売	12.40	0.296	0.83	0.226	2.12	0.84			0.23	
611201	302	小売	18.49	0.442	1.24	0.338	2.36	1.41			0.29	
621101	303	金融	7.01	0.167	0.45	0.124	0.88	0.46			0.11	
621201	304	生命保険	10.04	0.240	0.65	0.178	1.32	0.66			0.15	

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
621202	305	損害保険	8.85	0.211	0.58	0.159	1.13	0.59	0.14
641101	306	不動産仲介・管理業	10.50	0.251	0.70	0.192	1.01	0.58	0.12
641102	307	不動産賃貸業	11.07	0.265	0.75	0.204	0.98	0.61	0.12
642101	308	住宅賃貸料	2.83	0.068	0.22	0.059	0.45	0.20	0.06
711101	309	鉄道旅客輸送	30.16	0.720	2.16	0.588	2.55	1.92	0.36
711201	310	鉄道貨物輸送	45.93	1.097	3.23	0.880	3.86	3.15	0.77
712101	311	バス	40.21	0.961	2.74	0.746	22.68	2.50	2.31
712102	312	ハイヤー・タクシー	31.81	0.760	1.95	0.532	5.64	1.23	0.24
712201	313	道路貨物輸送	57.51	1.374	3.91	1.066	28.13	3.97	3.25
713101	314	自家用旅客自動車輸送	155.84	3.723	10.43	2.844	17.93	6.69	1.49
713201	315	自家用貨物自動車輸送	165.54	3.955	11.20	3.056	75.76	9.08	8.03
714101	316	外洋輸送	546.54	13.056	39.03	10.644	1026.48	693.74	43.27
714201	317	沿海・内水面輸送	135.52	3.237	9.54	2.601	180.30	107.15	9.78
714301	318	港湾運送	17.66	0.422	1.23	0.335	15.27	7.20	0.82
715101	319	航空輸送	162.87	3.891	10.89	2.970	40.88	1.29	2.60
716101	320	貨物輸送取扱	21.51	0.514	1.44	0.394	7.35	1.27	0.32
717101	321	倉庫	21.02	0.502	1.43	0.391	1.90	1.11	0.20
718101	322	こん包	26.74	0.639	1.77	0.482	3.90	2.21	0.54
718901	323	道路輸送施設提供	14.66	0.350	1.01	0.277	1.62	0.75	0.15
718902	324	水運施設管理★★	21.56	0.515	1.56	0.425	6.44	4.58	0.35
718903	325	その他の水運付帯サービス	7.62	0.182	0.53	0.145	1.82	1.33	0.12
718904	326	航空施設管理(国公営)★★	22.35	0.534	1.52	0.414	2.26	1.16	0.24
718905	327	航空施設管理(産業)	29.33	0.701	1.95	0.532	3.22	1.46	0.28
718906	328	その他の航空付帯サービス	13.50	0.323	0.91	0.248	1.75	0.82	0.17
718909	329	旅行・その他の運輸付帯サービス	12.92	0.309	0.82	0.223	1.46	0.76	0.17
731101	330	郵便	15.49	0.370	1.04	0.283	5.18	1.24	0.47
731201	331	国内電気通信(除移動通信)	9.79	0.234	0.66	0.181	1.18	0.59	0.13
731202	332	移動通信	7.10	0.170	0.48	0.132	0.90	0.46	0.11
731203	333	国際電気通信	11.47	0.274	0.79	0.214	1.38	0.68	0.16
731909	334	その他の通信サービス	9.64	0.230	0.67	0.182	1.06	0.48	0.12
732101	335	公共放送	20.96	0.501	1.40	0.381	2.71	1.11	0.30
732102	336	民間放送	15.22	0.363	1.02	0.277	2.32	1.11	0.23
732103	337	有線放送	14.93	0.357	1.07	0.292	2.15	1.02	0.24
811101	338	公務(中央)★★	20.40	0.487	1.40	0.383	2.82	1.48	0.33
811201	339	公務(地方)★★	19.49	0.466	1.35	0.368	2.11	1.50	0.29
821101	340	学校教育(国公立)★★	10.97	0.262	0.75	0.204	1.09	0.69	0.14
821102	341	学校教育(私立)★	13.03	0.311	0.87	0.239	1.42	0.77	0.20
821301	342	社会教育(国公立)★★	29.90	0.714	2.01	0.549	2.57	1.62	0.34
821302	343	社会教育(非営利)★	24.38	0.582	1.61	0.440	2.18	1.29	0.26
821303	344	その他の教育訓練機関(国公立)★★	42.54	1.016	2.88	0.785	3.63	5.06	0.51
821304	345	その他の教育訓練機関(産業)	32.64	0.780	2.20	0.601	3.67	3.27	0.56
822101	346	自然科学研究機関(国公立)★★	24.29	0.580	1.59	0.433	2.05	1.02	0.21
822102	347	人文科学研究機関(国公立)★★	7.61	0.182	0.49	0.133	0.98	0.43	0.12
822103	348	自然科学研究機関(非営利)★	11.45	0.273	0.73	0.199	1.33	0.49	0.15
822104	349	人文科学研究機関(非営利)★	7.76	0.185	0.50	0.136	0.84	0.40	0.12

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型	(I-A) ¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
822105	350	自然科学研究機関(産業)	25.55	0.610	1.71	0.466	2.05	1.37	0.44
822106	351	人文科学研究機関(産業)	11.61	0.277	0.73	0.199	1.65	0.79	0.21
822201	352	企業内研究開発	25.93	0.619	1.73	0.472	2.42	1.56	0.38
831101	353	医療(国公立)	27.68	0.661	1.86	0.506	3.16	2.24	0.40
831102	354	医療(公益法人等)	22.64	0.541	1.53	0.418	2.60	1.79	0.33
831103	355	医療(医療法人等)	21.92	0.524	1.47	0.402	2.58	1.72	0.32
831201	356	保健衛生(国公立)★★	15.71	0.375	1.05	0.287	1.70	1.21	0.23
831202	357	保健衛生(非営利)★	22.91	0.547	1.56	0.426	2.32	1.38	0.34
831203	358	保健衛生(産業)	22.82	0.545	1.54	0.420	2.73	1.63	0.41
831301	359	社会保険事業(国公立)★★	19.44	0.464	1.29	0.351	1.78	1.00	0.20
831302	360	社会保険事業(非営利)★	21.08	0.504	1.40	0.381	2.01	1.20	0.23
831303	361	社会福祉(国公立)★★	17.00	0.406	1.11	0.303	2.36	1.24	0.28
831304	362	社会福祉(非営利)★	18.50	0.442	1.21	0.331	2.73	1.40	0.32
841101	363	対企業民間非営利団体	18.05	0.431	1.19	0.325	2.28	1.63	0.31
841102	364	対家計民間非営利団体(除別掲)★	14.96	0.357	0.97	0.264	1.91	1.00	0.26
851101	365	広告	24.97	0.597	1.53	0.417	3.09	2.08	0.44
851201	366	情報サービス	12.30	0.294	0.80	0.217	1.52	0.83	0.20
851202	367	ニュース供給・興信所	12.08	0.289	0.81	0.220	1.96	0.74	0.21
851301	368	物品賃貸業(除貸自動車)	7.70	0.184	0.53	0.145	1.11	0.52	0.13
851401	369	貸自動車業	7.63	0.182	0.52	0.141	1.18	0.42	0.15
851510	370	自動車修理	25.17	0.601	1.83	0.499	3.27	2.02	0.40
851610	371	機械修理	24.32	0.581	1.80	0.492	3.05	1.59	0.36
851901	372	建物サービス	9.45	0.226	0.63	0.172	1.39	0.67	0.18
851902	373	法務・財務・会計サービス	10.12	0.242	0.66	0.180	1.32	0.55	0.18
851903	374	土木建築サービス	15.06	0.360	0.95	0.258	1.71	0.86	0.27
851904	375	労働者派遣サービス	2.09	0.050	0.14	0.037	0.26	0.15	0.03
851909	376	その他の対事業所サービス	10.24	0.245	0.69	0.188	1.34	0.67	0.15
861101	377	映画・ビデオ制作・配給業	16.88	0.403	1.13	0.309	2.25	0.95	0.24
861102	378	映画館	37.59	0.898	2.51	0.685	3.48	2.40	0.38
861103	379	劇場・興行場	19.49	0.465	1.31	0.357	2.02	1.13	0.24
861104	380	遊戯場	31.71	0.757	2.14	0.584	3.15	1.96	0.34
861105	381	競輪・競馬等の競走場・競技団	14.65	0.350	0.99	0.270	1.84	0.97	0.22
861106	382	スポーツ施設提供業・公園・遊園地	17.46	0.417	1.18	0.322	2.04	1.13	0.25
861107	383	興行団	16.98	0.406	1.15	0.313	2.55	0.97	0.26
861109	384	その他の娯楽	14.53	0.347	0.98	0.267	1.74	0.80	0.19
861201	385	一般飲食店(除喫茶店)	28.70	0.686	1.88	0.512	5.77	3.20	0.68
861202	386	喫茶店	32.35	0.773	2.03	0.553	4.32	2.41	0.55
861203	387	遊興飲食店	23.50	0.561	1.52	0.413	3.77	2.08	0.46
861301	388	旅館・その他の宿泊所	29.46	0.704	1.96	0.534	4.38	2.36	0.55
861901	389	洗濯・洗張・染物業	25.94	0.620	1.74	0.474	2.86	1.06	0.39
861902	390	理容業	14.42	0.344	0.93	0.255	1.40	0.48	0.18
861903	391	美容業	13.20	0.315	0.86	0.236	1.51	0.61	0.19
861904	392	浴場業	67.75	1.618	4.42	1.206	5.17	5.08	0.79
861905	393	写真業	17.51	0.418	1.17	0.319	3.04	1.27	0.38
861906	394	冠婚葬祭業	27.73	0.663	1.85	0.505	3.36	1.65	0.44

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー 原単位A	エネルギー 原単位B	CO ₂ 排出 原単位A	CO ₂ 排出 原単位B	NO _x 排出 原単位	SO _x 排出 原単位	PM排出 原単位
			(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型	(I-A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
861907	395	各種修理業(除別掲)	25.55	0.610	1.79	0.487	2.89	1.27	0.38
861908	396	個人教授所	14.25	0.340	0.96	0.262	1.68	0.77	0.19
861909	397	その他の対個人サービス	18.98	0.453	1.30	0.355	2.15	1.01	0.27
890000	398	事務用品	66.22	1.582	3.87	1.055	8.32	6.43	1.41
900000	399	分類不明	23.91	0.573	1.80	0.490	3.89	2.12	0.71

付録2 1995年 エネルギー・大気環境負荷原単位 (I-(I-M)A)⁻¹型

- ・エネルギー原単位A (GJ/百万円・生産者価格)

・CO₂排出原単位A (Mg-CO₂/百万円・生産者価格)

・NO_x 排出原単位 (kg/百万円・生産者価格)

・PM排出原単位 (kg/百万円・生産者価格)
- ・エネルギー原単位B (10³kcal/百万円・生産者価格)

・CO₂排出原単位B (t-C/百万円・生産者価格)

・SO_x 排出原単位 (kg/百万円・生産者価格)

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー 原単位A	エネルギー 原単位B	CO ₂ 排出 原単位A	CO ₂ 排出 原単位B	NO _x 排出 原単位	SO _x 排出 原単位	PM排出 原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
11101	1	米	18.16	0.434	1.25	0.341	4.63	1.27	4.35
11102	2	麦類	29.42	0.703	2.03	0.554	6.63	1.92	5.27
11201	3	いも類	20.18	0.482	1.40	0.382	6.08	1.61	0.81
11202	4	豆類	19.36	0.463	1.35	0.368	5.38	1.56	0.56
11301	5	野菜	28.56	0.682	1.96	0.534	7.56	4.43	1.03
11401	6	果実	16.56	0.396	1.14	0.310	4.03	1.59	1.35
11501	7	砂糖原料作物	22.11	0.528	1.53	0.418	5.48	1.70	0.63
11502	8	飲料用作物	21.94	0.524	1.53	0.418	4.72	1.92	0.63
11509	9	その他の食用耕種作物	21.61	0.516	1.49	0.408	7.80	1.95	0.59
11601	10	飼料作物	18.89	0.451	1.32	0.359	4.81	1.27	0.53
11602	11	種苗	24.22	0.579	1.65	0.451	5.64	3.35	0.60
11603	12	花き・花木類	50.12	1.197	3.44	0.938	11.71	7.88	1.23
11609	13	その他の非食用耕種作物	20.50	0.490	1.41	0.385	4.77	1.32	0.61
12101	14	酪農	16.96	0.405	1.17	0.318	4.79	1.63	0.70
12102	15	鶏卵	29.18	0.697	1.99	0.543	8.92	3.61	1.70
12103	16	肉鶏	32.31	0.772	2.21	0.602	8.59	3.52	3.10
12104	17	豚	25.02	0.598	1.71	0.467	7.45	3.07	1.37
12105	18	肉用牛	21.11	0.504	1.45	0.396	6.55	2.27	1.15
12109	19	その他の畜産	11.89	0.284	0.82	0.223	3.44	1.24	0.44
12201	20	養蚕	26.61	0.636	1.83	0.499	4.82	1.56	2.55
13101	21	獣医薬業	36.20	0.865	2.45	0.668	4.05	1.06	0.72
13102	22	農業サービス(除獣医薬)	42.32	1.011	2.86	0.779	5.74	2.09	11.13
21101	23	育林	12.91	0.308	0.88	0.240	3.53	0.77	0.22
21201	24	素材	23.75	0.567	1.62	0.441	9.24	1.33	0.59
21301	25	特用林産物(含狩猟業)	76.71	1.832	5.22	1.424	15.86	8.10	1.79
31101	26	海面漁業	122.52	2.927	8.52	2.323	113.65	64.44	8.57
31104	27	海面養殖業	78.44	1.874	5.44	1.483	59.51	37.05	5.06
31201	28	内水面漁業	48.47	1.158	3.29	0.898	13.12	4.45	1.08
61101	29	金属鉱物	65.97	1.576	4.72	1.288	13.48	5.49	1.24
62101	30	窯業原料鉱物	68.79	1.643	4.78	1.303	30.21	4.67	2.36
62201	31	砂利・採石	54.82	1.310	3.74	1.020	22.30	3.37	2.31
62202	32	砕石	58.53	1.398	4.02	1.098	22.57	3.81	2.32
62909	33	その他の非金属鉱物	63.81	1.524	4.38	1.196	24.06	4.45	2.05
71101	34	石炭	71.46	1.707	5.54	1.510	9.59	5.81	0.76

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			G/J/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
72101	35	原油・天然ガス	26.81	0.640	1.93	0.527	2.92	1.60	0.27
111101	36	と畜(含肉鶏処理)	23.95	0.572	1.64	0.447	6.90	2.55	1.45
111201	37	肉加工品	20.81	0.497	1.40	0.383	3.73	2.09	0.61
111202	38	畜産びん・かん詰	31.92	0.763	2.26	0.616	5.51	4.51	0.79
111203	39	動物油脂	62.25	1.487	4.32	1.179	6.76	13.93	1.25
111204	40	酪農品	34.59	0.826	2.36	0.643	5.24	5.27	0.76
111301	41	冷凍魚介類	63.93	1.527	4.43	1.207	51.68	29.14	3.95
111302	42	塩・干・くん製品	45.51	1.087	3.13	0.853	25.85	15.24	2.07
111303	43	水産びん・かん詰	53.05	1.267	3.79	1.034	19.45	14.06	1.77
111304	44	ねり製品	35.28	0.843	2.35	0.642	11.65	6.91	1.08
111305	45	魚油・魚かす	80.35	1.920	5.59	1.523	43.68	29.69	3.62
111309	46	その他の水産食品	38.39	0.917	2.64	0.719	20.39	12.29	1.74
111401	47	精穀	21.79	0.520	1.49	0.407	5.75	1.71	3.74
111402	48	製粉	24.10	0.576	1.64	0.446	4.53	2.09	1.12
111501	49	めん類	33.19	0.793	2.25	0.615	5.18	3.84	0.79
111502	50	パン類	28.31	0.676	1.87	0.509	4.00	2.66	0.62
111503	51	菓子類	29.62	0.708	1.97	0.538	3.96	3.52	0.62
111601	52	農産びん・かん詰	43.41	1.037	3.09	0.842	6.06	6.08	0.86
111602	53	農産保存食料品(除びん・かん詰)	28.61	0.683	1.96	0.534	4.97	3.53	0.66
111701	54	砂糖	78.20	1.868	5.35	1.459	9.96	21.94	1.73
111702	55	でん粉	62.37	1.490	4.19	1.144	7.13	9.14	1.09
111703	56	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	119.51	2.855	8.28	2.259	12.78	27.58	2.16
111704	57	植物油脂	40.21	0.961	2.73	0.745	5.16	5.71	0.72
111705	58	調味料	38.60	0.922	2.64	0.720	5.56	5.29	0.82
111901	59	冷凍調理食品	30.34	0.725	2.03	0.554	5.90	4.15	0.78
111902	60	レトルト食品	31.54	0.753	2.09	0.570	5.13	4.41	0.73
111903	61	そう菜・すし・弁当	25.98	0.621	1.74	0.474	5.31	3.16	0.89
111904	62	学校給食(国公立)★★	23.54	0.562	1.51	0.411	3.79	2.03	0.57
111905	63	学校給食(私立)★	23.78	0.568	1.52	0.416	3.79	2.04	0.57
111909	64	その他の食料品	39.01	0.932	2.60	0.710	4.97	5.04	0.73
112101	65	清酒	21.06	0.503	1.42	0.387	3.72	2.41	1.21
112102	66	ビール	19.23	0.459	1.29	0.352	2.53	2.12	0.31
112103	67	添加用アルコール	102.94	2.459	7.12	1.940	11.14	26.24	2.05
112104	68	ウイスキー類	18.01	0.430	1.20	0.328	2.67	1.91	0.31
112109	69	その他の酒類	36.36	0.869	2.50	0.682	5.40	8.54	0.98
112901	70	茶・コーヒー	21.30	0.509	1.43	0.390	3.18	1.62	0.40
112902	71	清涼飲料	35.33	0.844	2.47	0.674	4.72	4.15	0.64
112903	72	製氷	58.90	1.407	4.03	1.100	4.15	2.81	0.46
113101	73	飼料	28.37	0.678	1.94	0.530	5.70	3.77	0.68
113102	74	有機質肥料(除別掲)	35.02	0.837	2.42	0.661	7.32	7.55	0.97
114101	75	たばこ	6.50	0.155	0.44	0.120	0.94	0.72	0.13
151101	76	製糸	30.44	0.727	2.10	0.574	4.94	3.96	1.61
151102	77	紡績糸	50.23	1.200	3.53	0.962	6.24	6.17	0.84
151201	78	綿・スプ繊維(含合繊短繊維)	56.21	1.343	3.92	1.070	7.60	7.67	1.04
151202	79	絹・人絹繊維(含合繊長繊維)	62.04	1.482	4.38	1.195	7.87	7.88	1.08

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			G/J/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
151203	80	毛繊維・麻繊維・その他の繊維	50.84	1.215	3.55	0.968	6.72	7.66	1.06
151301	81	ニット生地	45.34	1.083	3.19	0.869	5.68	4.94	0.71
151401	82	染色整理	84.11	2.009	5.90	1.609	11.03	14.83	2.00
151901	83	綱・網	59.32	1.417	4.17	1.138	8.14	6.67	0.93
151902	84	じゅうたん・床敷物	50.61	1.209	3.53	0.962	6.15	5.82	0.85
151903	85	繊維製衛生材料	34.25	0.818	2.21	0.604	4.26	3.21	0.65
151909	86	その他の繊維工業製品	49.25	1.177	3.41	0.931	6.28	6.86	0.95
152101	87	繊維製衣服	27.25	0.651	1.88	0.513	3.72	3.32	0.53
152102	88	ニット製衣服	33.16	0.792	2.30	0.626	4.54	3.70	0.59
152209	89	その他の衣服・身の回り品	44.40	1.061	3.07	0.838	6.57	5.92	0.84
152901	90	寝具	30.70	0.733	2.10	0.573	4.72	3.92	0.63
152909	91	その他の繊維既製品	27.37	0.654	1.89	0.514	3.80	3.03	0.48
161101	92	製材	20.29	0.485	1.38	0.377	5.68	1.22	0.51
161102	93	合板	29.11	0.695	1.99	0.542	5.38	2.75	0.67
161103	94	木材チップ	19.78	0.472	1.35	0.367	5.41	1.14	0.49
161909	95	その他の木製品	23.57	0.563	1.62	0.441	4.45	1.86	0.53
171101	96	木製家具・装備品	24.99	0.597	1.74	0.473	4.30	2.10	0.51
171102	97	木製建具	27.53	0.658	1.87	0.511	4.84	2.38	0.65
171103	98	金属製家具・装備品	42.45	1.014	3.35	0.912	5.03	2.83	0.68
181101	99	パルプ	217.20	5.189	9.29	2.533	19.01	26.06	5.21
181201	100	洋紙・和紙	191.79	4.582	9.88	2.694	17.30	18.84	4.06
181202	101	板紙	181.17	4.328	10.85	2.959	17.35	17.91	3.87
181301	102	段ボール	109.98	2.627	6.70	1.829	12.00	11.45	2.58
181302	103	塗工紙・建設用加工紙	76.05	1.817	4.53	1.236	8.23	6.39	1.79
182101	104	段ボール箱	55.03	1.315	3.45	0.941	6.61	6.10	1.29
182109	105	その他の紙製容器	55.82	1.333	3.30	0.899	6.22	5.17	1.17
182901	106	紙製衛生材料・用品	58.16	1.389	3.60	0.982	6.48	9.74	1.05
182909	107	その他のパルプ・紙・紙加工品	59.96	1.432	3.54	0.965	6.38	5.96	1.16
191101	108	新聞	43.66	1.043	2.43	0.661	4.84	3.77	0.88
191102	109	印刷・製版・製本	39.00	0.932	2.27	0.618	4.02	3.20	0.71
191103	110	出版	32.43	0.775	1.87	0.509	3.90	2.63	0.65
201101	111	アンモニア	613.07	14.646	36.75	10.022	44.33	9.00	3.18
201102	112	化学肥料	105.13	2.511	7.47	2.037	10.19	5.65	1.91
202101	113	ソーダ工業製品	210.54	5.029	17.05	4.651	28.08	28.60	7.00
202901	114	無機顔料	94.28	2.252	6.94	1.892	10.12	8.81	1.61
202902	115	圧縮ガス・液化ガス	126.31	3.017	8.61	2.349	7.77	6.16	0.99
202903	116	塩	312.21	7.458	25.23	6.880	54.78	47.32	14.81
202909	117	その他の無機化学工業製品	99.26	2.371	7.60	2.071	12.83	11.30	3.26
203101	118	石油化学基礎製品	257.70	6.156	17.13	4.671	16.00	12.03	2.47
203102	119	石油化学系芳香族製品	277.85	6.638	17.40	4.745	15.99	8.25	2.20
203201	120	脂肪族中間物	186.15	4.447	13.16	3.588	16.21	15.61	2.29
203202	121	環式中間物	182.35	4.356	11.99	3.270	14.10	10.58	2.05
203301	122	合成ゴム	155.94	3.725	11.41	3.111	14.83	19.23	2.71
203901	123	メタン誘導品	189.44	4.525	11.73	3.199	14.53	12.53	2.68
203902	124	油脂加工製品	48.06	1.148	3.14	0.856	4.54	4.02	0.72

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
203903	125	可塑剤	140.38	3.353	9.32	2.542	11.71	7.79	1.61
203904	126	合成染料	112.69	2.692	7.70	2.100	11.27	8.47	1.88
203909	127	その他の有機化学工業製品	121.40	2.900	8.47	2.309	11.30	8.20	1.63
204101	128	熱硬化性樹脂	97.80	2.336	7.14	1.949	9.06	7.22	1.26
204102	129	熱可塑性樹脂	166.82	3.985	11.21	3.058	13.31	11.28	2.01
204103	130	高機能性樹脂	103.85	2.481	6.99	1.905	9.90	8.05	1.46
204109	131	その他の合成樹脂	168.58	4.027	11.02	3.006	13.81	9.54	1.93
205101	132	レーヨン・アセテート	159.28	3.805	11.30	3.083	18.61	27.22	2.67
205102	133	合成繊維	112.20	2.680	8.13	2.216	11.74	11.46	1.36
206101	134	医薬品	27.94	0.667	1.92	0.524	3.38	2.19	0.46
207101	135	石けん・合成洗剤・界面活性剤	52.37	1.251	3.55	0.968	5.84	3.94	0.91
207102	136	化粧品・歯磨	31.11	0.743	2.10	0.572	3.94	2.64	0.50
207201	137	塗料	58.48	1.397	4.10	1.119	6.26	4.46	0.86
207202	138	印刷インキ	61.64	1.472	4.28	1.166	6.49	4.65	0.88
207301	139	写真感光材料	43.12	1.030	2.83	0.772	5.13	4.69	0.81
207401	140	農薬	60.27	1.440	4.24	1.157	7.80	8.06	1.08
207901	141	ゼラチン・接着剤	68.21	1.629	4.76	1.299	7.63	6.80	1.06
207909	142	その他の化学最終製品	63.99	1.529	4.40	1.201	7.68	7.31	1.00
211101	143	石油製品	57.04	1.363	3.30	0.901	5.00	3.74	0.69
212101	144	石炭製品	275.28	6.576	21.78	5.940	39.28	26.44	3.25
212102	145	舗装材料	44.99	1.075	3.01	0.821	6.98	5.12	0.98
221101	146	プラスチック製品	59.56	1.423	4.05	1.103	5.81	4.61	0.81
231101	147	タイヤ・チューブ	67.02	1.601	4.77	1.301	7.65	7.92	1.27
231901	148	ゴム製履物	26.90	0.643	1.84	0.502	3.27	2.69	0.45
231902	149	プラスチック製履物	39.92	0.954	2.77	0.755	4.74	3.72	0.65
231909	150	その他のゴム製品	45.28	1.082	3.19	0.871	4.70	4.81	0.72
241101	151	革製履物	19.45	0.465	1.32	0.361	2.87	2.15	0.39
241201	152	製革・毛皮	38.39	0.917	2.65	0.723	5.31	6.20	0.91
241202	153	かばん・袋物・その他の革製品	25.74	0.615	1.76	0.480	3.38	2.50	0.46
251101	154	板ガラス・安全ガラス	74.29	1.775	5.24	1.429	24.31	10.46	1.39
251201	155	ガラス繊維・同製品	81.46	1.946	5.45	1.487	20.23	6.56	1.69
251909	156	その他のガラス製品	81.39	1.944	5.51	1.504	22.72	8.46	1.51
252101	157	セメント	523.62	12.509	109.69	29.914	180.00	16.60	6.64
252201	158	生コンクリート	133.53	3.190	23.39	6.379	49.18	6.70	2.66
252301	159	セメント製品	74.05	1.769	10.41	2.838	21.84	5.53	1.59
253101	160	陶磁器	55.77	1.332	3.67	1.001	8.50	4.08	0.86
259901	161	耐火物	84.01	2.007	6.55	1.787	12.90	10.07	1.71
259902	162	その他の建設用土石製品	97.48	2.329	6.67	1.819	11.27	12.70	2.36
259903	163	炭素・黒鉛製品	83.37	1.992	6.30	1.718	12.36	8.96	1.90
259904	164	研磨材	42.16	1.007	3.12	0.851	6.03	3.70	0.74
259909	165	その他の窯業・土石製品	74.53	1.781	5.79	1.580	12.17	4.01	2.16
261101	166	鉄鉄	995.19	23.774	100.11	27.302	53.65	35.10	12.18
261102	167	フェロアロイ	376.66	8.998	34.26	9.343	59.12	33.77	3.40
261103	168	粗鋼(転炉)	440.96	10.534	44.44	12.120	28.51	18.00	5.78
261104	169	粗鋼(電気炉)	122.49	2.926	11.20	3.055	18.79	9.31	1.36

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
261201	170	鉄屑	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
262101	171	熱間圧延鋼材	247.98	5.924	23.67	6.454	20.14	11.49	3.16
262201	172	鋼管	146.94	3.510	13.00	3.547	12.53	7.87	1.84
262301	173	冷間仕上鋼材	157.48	3.762	13.94	3.801	13.25	8.36	1.91
262302	174	めっき鋼材	106.95	2.555	8.69	2.371	10.06	6.15	1.21
263101	175	鍛鍛鋼	132.05	3.155	11.72	3.196	11.61	13.27	1.56
263102	176	鍛鉄管	113.95	2.722	10.18	2.776	9.20	8.49	1.48
263103	177	鍛鉄品及び鍛工品(鉄)	172.68	4.125	16.19	4.416	11.45	14.22	2.25
264901	178	鉄鋼シャースリット業	115.87	2.768	10.46	2.852	11.14	6.22	1.54
264909	179	その他の鉄鋼製品	84.78	2.025	7.39	2.015	10.04	5.34	1.33
271101	180	銅	30.74	0.734	2.41	0.658	6.20	12.34	0.40
271102	181	鉛・亜鉛(含再生)	105.96	2.531	8.49	2.315	12.14	19.91	1.00
271103	182	アルミニウム(含再生)	65.49	1.565	4.88	1.331	15.89	10.03	1.26
271109	183	その他の非鉄金属地金	33.42	0.798	2.46	0.672	8.28	5.03	0.53
271201	184	非鉄金属屑	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
272101	185	電線・ケーブル	31.22	0.746	2.17	0.592	4.00	4.07	0.42
272102	186	光ファイバケーブル	35.41	0.846	2.41	0.658	4.75	2.60	0.55
272201	187	伸銅品	30.29	0.723	2.12	0.577	4.51	4.20	0.57
272202	188	アルミ圧延製品	34.74	0.830	2.42	0.660	6.17	3.78	0.62
272203	189	非鉄金属素形材	36.51	0.872	2.91	0.792	5.90	3.97	1.00
272204	190	核燃料	20.90	0.499	1.51	0.411	3.10	2.21	0.35
272209	191	その他の非鉄金属製品	27.27	0.651	1.97	0.536	3.16	2.92	0.30
281101	192	建設用金属製品	65.67	1.569	5.79	1.578	6.79	3.70	0.92
281201	193	建築用金属製品	40.13	0.959	3.13	0.855	5.34	2.88	0.58
289101	194	ガス・石油機器及び暖厨房機器	52.29	1.249	4.37	1.193	5.70	3.09	0.75
289901	195	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	64.75	1.547	5.45	1.486	6.44	3.52	0.83
289902	196	金属製容器及び製缶板金製品	53.50	1.278	4.28	1.167	5.79	2.99	0.70
289903	197	配管工事付属品・粉末冶金製品・道具類	47.38	1.132	3.75	1.023	4.81	2.71	0.59
289909	198	その他の金属製品	43.87	1.048	3.50	0.954	4.51	2.50	0.55
301101	199	ボイラ	32.19	0.769	2.59	0.705	3.90	2.17	0.48
301102	200	タービン	30.60	0.731	2.45	0.668	3.43	2.03	0.44
301103	201	原動機	40.30	0.963	3.31	0.902	4.52	2.78	0.59
301201	202	運搬機械	32.97	0.788	2.69	0.733	3.70	2.13	0.48
301301	203	冷凍機・温湿調整装置	30.65	0.732	2.39	0.652	3.42	2.22	0.45
301901	204	ポンプ及び圧縮機	43.59	1.041	3.66	0.997	4.53	3.12	0.66
301902	205	機械工具	40.16	0.959	3.34	0.910	4.39	2.56	0.58
301909	206	その他の一般産業機械及び装置	38.37	0.917	3.16	0.862	4.29	2.55	0.57
302101	207	鉱山・土木建設機械	41.98	1.003	3.48	0.950	4.62	2.96	0.61
302201	208	化学機械	30.73	0.734	2.49	0.679	3.42	2.08	0.45
302301	209	産業用ロボット	23.58	0.563	1.84	0.501	2.59	1.52	0.33
302401	210	金属工作機械	30.54	0.729	2.51	0.683	3.17	2.05	0.43
302402	211	金属加工機械	32.41	0.774	2.64	0.720	3.32	2.15	0.44
302901	212	農業機械	40.74	0.973	3.30	0.900	4.42	2.76	0.60
302902	213	繊維機械	32.72	0.782	2.66	0.724	3.49	2.24	0.48
302903	214	食料品加工機械	38.91	0.929	3.25	0.885	4.23	2.44	0.54

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
302904	215	半導体製造装置	26.79	0.640	2.09	0.570	3.00	1.76	0.39
302909	216	その他の特殊産業機械	28.63	0.684	2.28	0.622	3.21	1.97	0.42
303101	217	金型	39.06	0.933	3.35	0.913	3.95	2.79	0.56
303102	218	ベアリング	58.18	1.390	4.93	1.345	5.67	3.18	0.77
303109	219	その他の一般機械器具及び部品	40.12	0.958	3.32	0.905	4.42	2.87	0.59
311101	220	複写機	24.65	0.589	1.77	0.482	3.11	1.87	0.39
311109	221	その他の事務用機械	22.58	0.539	1.58	0.431	2.82	1.63	0.35
311201	222	サービス用機器	23.42	0.560	1.76	0.481	2.92	1.59	0.37
321101	223	電気音響機器	22.67	0.542	1.60	0.437	2.73	1.58	0.34
321102	224	ラジオ・テレビ受信機	22.34	0.534	1.57	0.428	2.88	1.63	0.33
321103	225	ビデオ機器	20.64	0.493	1.47	0.401	2.44	1.43	0.29
321201	226	民生用電気機器	26.96	0.644	1.97	0.538	3.17	1.89	0.40
331101	227	電子計算機本体	16.87	0.403	1.16	0.316	2.11	1.18	0.25
331102	228	電子計算機付属装置	19.34	0.462	1.34	0.366	2.34	1.32	0.28
332101	229	有線電気通信機器	21.18	0.506	1.47	0.401	2.56	1.56	0.31
332102	230	無線電気通信機器	20.18	0.482	1.40	0.381	2.46	1.47	0.30
332109	231	その他の電気通信機器	19.27	0.460	1.35	0.369	2.28	1.32	0.28
333101	232	電子応用装置	17.37	0.415	1.20	0.328	2.19	1.17	0.25
333201	233	電気計測器	17.37	0.415	1.24	0.339	2.11	1.19	0.26
334101	234	半導体素子・集積回路	23.35	0.558	1.60	0.435	2.40	1.51	0.27
335901	235	電子管	36.63	0.875	2.50	0.681	6.77	3.08	0.57
335902	236	液晶素子	29.21	0.698	2.00	0.546	3.92	2.09	0.38
335903	237	磁気テープ・磁気ディスク	40.97	0.979	2.80	0.763	4.38	2.98	0.58
335909	238	その他の電子部品	20.81	0.497	1.44	0.393	2.39	1.42	0.28
341101	239	回転電気機械	34.32	0.820	2.70	0.736	3.61	2.34	0.47
341102	240	開閉制御装置及び配電盤	23.70	0.566	1.80	0.490	2.69	1.66	0.34
341103	241	変圧器・変成器	30.00	0.717	2.31	0.629	3.47	2.10	0.46
341109	242	その他の産業用重電機器	25.39	0.607	1.86	0.506	2.91	1.85	0.38
342101	243	電気照明器具	29.93	0.715	2.14	0.582	3.51	1.99	0.43
342102	244	電池	34.23	0.818	2.47	0.673	4.00	3.00	0.48
342103	245	電球類	29.97	0.716	2.02	0.552	4.21	2.13	0.44
342104	246	配線器具	26.41	0.631	1.92	0.523	2.99	1.85	0.38
342105	247	内燃機関電装品	28.25	0.675	2.16	0.588	3.24	1.94	0.41
342109	248	その他の電気機械器具	27.05	0.646	1.90	0.518	2.89	1.86	0.32
351101	249	乗用車	31.93	0.763	2.40	0.656	4.11	2.43	0.49
352101	250	トラック・バス・その他の自動車	32.86	0.785	2.46	0.672	4.11	2.51	0.51
353101	251	二輪自動車	31.54	0.753	2.37	0.647	3.78	2.33	0.48
354101	252	自動車車体	42.43	1.014	3.41	0.931	4.63	2.74	0.60
354102	253	自動車用内燃機関・同部分品	33.40	0.798	2.56	0.697	3.48	2.39	0.46
354103	254	自動車部品	36.71	0.877	2.85	0.776	3.96	2.65	0.53
361101	255	鋼船	49.48	1.182	4.19	1.142	5.07	2.97	0.68
361102	256	その他の船舶	35.88	0.857	2.67	0.727	4.11	2.29	0.50
361103	257	船用内燃機関	42.71	1.020	3.48	0.949	4.38	3.07	0.60
361110	258	船舶修理	39.91	0.954	3.36	0.916	4.21	2.52	0.57
362101	259	鉄道車両	45.62	1.090	3.71	1.011	5.32	2.95	0.66

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
362110	260	鉄道車両修理	48.39	1.156	3.92	1.070	4.80	5.63	0.86
362201	261	航空機	18.10	0.432	1.29	0.351	2.30	1.26	0.26
362210	262	航空機修理	10.07	0.240	0.71	0.193	1.32	0.69	0.15
362901	263	自転車	23.14	0.553	1.72	0.469	2.50	1.54	0.33
362909	264	その他の輸送機械	34.11	0.815	2.73	0.746	3.86	2.36	0.50
371101	265	カメラ	19.20	0.459	1.30	0.356	2.36	1.39	0.27
371109	266	その他の光学機械	26.88	0.642	1.86	0.506	4.03	1.95	0.38
371201	267	時計	20.55	0.491	1.44	0.394	2.70	1.43	0.30
371901	268	理化学機械器具	23.92	0.571	1.75	0.477	2.88	1.57	0.35
371902	269	分析器・試験機・計量器・測定器	21.88	0.523	1.59	0.434	2.79	1.43	0.33
371903	270	医療用機械器具	24.68	0.590	1.75	0.478	2.87	1.79	0.36
391101	271	玩具	25.60	0.611	1.72	0.470	3.91	1.91	0.48
391102	272	運動用品	36.55	0.873	2.56	0.698	5.13	2.98	0.64
391901	273	楽器	22.93	0.548	1.57	0.428	3.64	1.61	0.42
391902	274	情報記録物	32.23	0.770	2.15	0.586	4.07	2.26	0.49
391903	275	筆記具・文具	29.82	0.712	2.06	0.561	4.22	2.13	0.54
391904	276	身辺細貨品	31.18	0.745	2.12	0.579	10.47	5.77	0.99
391905	277	量・わが加工品	16.78	0.401	1.15	0.313	4.04	1.20	1.80
391906	278	武器	28.15	0.672	2.11	0.575	4.00	2.23	0.49
391909	279	その他の製造工業製品	33.24	0.794	2.29	0.625	5.17	3.06	0.62
411101	280	住宅建築(木造)	21.19	0.506	1.69	0.460	4.28	1.42	0.48
411102	281	住宅建築(非木造)	30.18	0.721	2.62	0.715	5.59	1.86	0.66
411201	282	非住宅建築(木造)	21.86	0.522	1.83	0.498	4.43	1.45	0.47
411202	283	非住宅建築(非木造)	31.19	0.745	2.71	0.740	5.61	1.91	0.67
412101	284	建設補修	29.49	0.705	2.49	0.678	5.48	1.96	0.70
413101	285	道路関係公共事業	36.67	0.876	3.47	0.947	11.09	2.41	1.22
413102	286	河川・下水道・その他の公共事業	33.62	0.803	3.41	0.929	9.37	2.12	0.94
413103	287	農林関係公共事業	37.19	0.888	3.52	0.959	13.60	2.30	1.43
413201	288	鉄道軌道建設	37.08	0.886	3.83	1.044	9.12	2.44	0.86
413202	289	電力施設建設	28.18	0.673	2.44	0.666	6.51	1.87	0.69
413203	290	電気通信施設建設	24.24	0.579	2.08	0.568	5.34	1.76	0.56
413209	291	その他の土木建設	36.57	0.874	3.56	0.971	9.92	2.41	1.02
511101	292	事業用電力	319.79	7.639	21.77	5.938	16.43	13.21	1.55
511104	293	自家発電	795.57	19.005	64.55	17.604	85.88	73.25	4.04
512101	294	都市ガス	18.96	0.453	1.18	0.321	2.60	1.08	0.26
512201	295	熱供給業	157.02	3.751	10.56	2.881	11.35	14.26	1.29
521101	296	上水道・簡易水道	30.02	0.717	2.09	0.569	2.29	1.51	0.28
521102	297	工業用水	33.24	0.794	2.29	0.625	2.54	1.52	0.29
521103	298	下水道★★	81.87	1.956	5.74	1.566	5.96	14.15	1.51
521201	299	廃棄物処理(公営)★★	317.73	7.590	10.80	2.945	14.90	2.47	9.65
521202	300	廃棄物処理(産業)	89.47	2.137	7.42	2.022	6.05	2.10	1.19
611101	301	卸売	11.33	0.271	0.76	0.206	1.93	0.77	0.22
611201	302	小売	17.46	0.417	1.17	0.320	2.21	1.33	0.27
621101	303	金融	6.25	0.149	0.41	0.111	0.76	0.39	0.09
621201	304	生命保険	9.05	0.216	0.59	0.161	1.17	0.57	0.14

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー		CO ₂ 排出		NO _x 排出		SO _x 排出		PM排出	
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位	原単位		
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型			
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円	
621202	305	損害保険	7.94	0.190	0.53	0.143	0.99	0.51		0.12		
641101	306	不動産仲介・管理業	9.89	0.236	0.66	0.181	0.91	0.53		0.11		
641102	307	不動産賃貸業	10.68	0.255	0.72	0.197	0.92	0.57		0.11		
642101	308	住宅賃貸料	2.55	0.061	0.20	0.054	0.40	0.17		0.05		
711101	309	鉄道旅客輸送	28.93	0.691	2.07	0.564	2.37	1.82		0.34		
711201	310	鉄道貨物輸送	44.42	1.061	3.12	0.851	3.65	3.03		0.74		
712101	311	バス	38.95	0.930	2.65	0.723	22.52	2.40		2.29		
712102	312	ハイヤー・タクシー	30.86	0.737	1.89	0.515	5.52	1.17		0.22		
712201	313	道路貨物輸送	55.96	1.337	3.81	1.038	27.95	3.85		3.23		
713101	314	自家用旅客自動車輸送	150.08	3.585	10.04	2.737	17.27	6.29		1.41		
713201	315	自家用貨物自動車輸送	160.14	3.826	10.84	2.956	75.13	8.69		7.96		
714101	316	外洋輸送	324.51	7.752	23.18	6.321	612.76	414.25		25.81		
714201	317	沿海・内水面輸送	133.09	3.179	9.37	2.554	179.93	106.93		9.75		
714301	318	港湾運送	16.89	0.403	1.18	0.321	15.16	7.14		0.80		
715101	319	航空輸送	159.48	3.810	10.66	2.908	40.40	1.08		2.55		
716101	320	貨物輸送取扱	20.38	0.487	1.37	0.374	7.19	1.18		0.30		
717101	321	倉庫	20.12	0.481	1.37	0.375	1.77	1.04		0.19		
718101	322	こん包	23.17	0.553	1.54	0.420	3.38	1.90		0.47		
718901	323	道路輸送施設提供	13.98	0.334	0.97	0.264	1.52	0.70		0.14		
718902	324	水運施設管理★★	20.36	0.486	1.47	0.402	6.26	4.48		0.33		
718903	325	その他の水運付帯サービス	7.17	0.171	0.50	0.137	1.74	1.30		0.11		
718904	326	航空施設管理(国公営)★★	21.01	0.502	1.43	0.389	2.07	1.04		0.22		
718905	327	航空施設管理(産業)	27.93	0.667	1.86	0.506	3.02	1.34		0.26		
718906	328	その他の航空付帯サービス	12.57	0.300	0.85	0.231	1.60	0.72		0.15		
718909	329	旅行・その他の運輸付帯サービス	11.72	0.280	0.74	0.202	1.27	0.65		0.15		
731101	330	郵便	13.58	0.325	0.91	0.248	4.25	0.78		0.42		
731201	331	国内電気通信(除移動通信)	9.09	0.217	0.62	0.168	1.07	0.53		0.12		
731202	332	移動通信	6.53	0.156	0.45	0.121	0.81	0.41		0.10		
731203	333	国際電気通信	10.57	0.253	0.73	0.198	1.24	0.62		0.14		
731909	334	その他の通信サービス	9.01	0.215	0.63	0.171	0.96	0.43		0.11		
732101	335	公共放送	18.47	0.441	1.23	0.335	2.23	0.96		0.26		
732102	336	民間放送	13.28	0.317	0.89	0.242	2.01	0.98		0.20		
732103	337	有線放送	13.49	0.322	0.97	0.264	1.93	0.90		0.21		
811101	338	公務(中央)★★	18.14	0.433	1.24	0.339	2.48	1.30		0.29		
811201	339	公務(地方)★★	18.49	0.442	1.28	0.349	1.96	1.42		0.27		
821101	340	学校教育(国公立)★★	10.34	0.247	0.70	0.192	0.98	0.65		0.13		
821102	341	学校教育(私立)★	12.11	0.289	0.81	0.222	1.28	0.70		0.18		
821301	342	社会教育(国公立)★★	28.44	0.679	1.92	0.523	2.32	1.49		0.32		
821302	343	社会教育(非営利)★	22.97	0.549	1.52	0.416	1.96	1.16		0.24		
821303	344	その他の教育訓練機関(国公立)★★	41.10	0.982	2.78	0.759	3.38	4.97		0.49		
821304	345	その他の教育訓練機関(産業)	31.23	0.746	2.11	0.576	3.46	3.16		0.54		
822101	346	自然科学研究機関(国公立)★★	23.31	0.557	1.52	0.415	1.89	0.95		0.19		
822102	347	人文科学研究機関(国公立)★★	6.97	0.167	0.45	0.122	0.88	0.39		0.11		
822103	348	自然科学研究機関(非営利)★	10.77	0.257	0.69	0.187	1.21	0.44		0.14		
822104	349	人文科学研究機関(非営利)★	7.16	0.171	0.46	0.126	0.76	0.34		0.11		

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー	エネルギー	CO ₂ 排出	CO ₂ 排出	NO _x 排出	SO _x 排出	PM排出
			原単位A	原単位B	原単位A	原単位B	原単位	原単位	原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ³ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
822105	350	自然科学研究機関(産業)	24.46	0.584	1.64	0.447	1.89	1.28	0.42
822106	351	人文科学研究機関(産業)	10.27	0.245	0.65	0.177	1.43	0.68	0.19
822201	352	企業内研究開発	24.10	0.576	1.61	0.440	2.15	1.40	0.35
831101	353	医療(国公立)	25.07	0.599	1.68	0.458	2.76	2.00	0.35
831102	354	医療(公益法人等)	20.55	0.491	1.39	0.379	2.27	1.59	0.29
831103	355	医療(医療法人等)	19.85	0.474	1.33	0.364	2.23	1.52	0.28
831201	356	保健衛生(国公立)★★	14.53	0.347	0.97	0.266	1.54	1.11	0.21
831202	357	保健衛生(非営利)★	21.08	0.504	1.44	0.393	2.07	1.22	0.31
831203	358	保健衛生(産業)	20.53	0.490	1.39	0.379	2.42	1.43	0.37
831301	359	社会保険事業(国公立)★★	18.38	0.439	1.22	0.332	1.60	0.90	0.18
831302	360	社会保険事業(非営利)★	19.79	0.473	1.31	0.357	1.80	1.08	0.21
831303	361	社会福祉(国公立)★★	15.56	0.372	1.01	0.276	1.97	1.00	0.24
831304	362	社会福祉(非営利)★	16.81	0.402	1.10	0.300	2.28	1.13	0.27
841101	363	対企業民間非営利団体	15.98	0.382	1.06	0.288	1.97	1.44	0.27
841102	364	対家計民間非営利団体(除別掲)★	13.33	0.319	0.86	0.236	1.65	0.85	0.23
851101	365	広告	21.81	0.521	1.34	0.366	2.64	1.82	0.38
851201	366	情報サービス	11.04	0.264	0.72	0.195	1.33	0.73	0.17
851202	367	ニュース供給・興信所	10.34	0.247	0.69	0.189	1.64	0.63	0.18
851301	368	物品賃貸業(除貸自動車)	6.70	0.160	0.46	0.127	0.95	0.44	0.11
851401	369	貸自動車業	7.09	0.169	0.48	0.131	1.10	0.37	0.14
851510	370	自動車修理	22.05	0.527	1.60	0.437	2.84	1.74	0.35
851610	371	機械修理	20.94	0.500	1.55	0.422	2.58	1.32	0.31
851901	372	建物サービス	8.33	0.199	0.56	0.152	1.21	0.57	0.16
851902	373	法務・財務・会計サービス	9.17	0.219	0.60	0.163	1.18	0.47	0.16
851903	374	土木建築サービス	13.47	0.322	0.85	0.232	1.46	0.73	0.23
851904	375	労働者派遣サービス	1.88	0.045	0.12	0.033	0.22	0.14	0.03
851909	376	その他の対事業所サービス	9.19	0.220	0.62	0.169	1.12	0.56	0.13
861101	377	映画・ビデオ制作・配給業	14.60	0.349	0.98	0.268	1.90	0.79	0.20
861102	378	映画館	35.57	0.850	2.38	0.648	3.18	2.26	0.34
861103	379	劇場・興行場	18.25	0.436	1.23	0.334	1.84	1.04	0.22
861104	380	遊戯場	30.15	0.720	2.04	0.556	2.92	1.83	0.32
861105	381	競輪・競馬等の競走場・競技団	13.68	0.327	0.93	0.252	1.68	0.89	0.20
861106	382	スポーツ施設提供業・公園・遊園地	16.29	0.389	1.10	0.301	1.87	1.04	0.23
861107	383	興行団	14.74	0.352	1.00	0.272	2.14	0.82	0.22
861109	384	その他の娯楽	13.74	0.328	0.93	0.253	1.62	0.74	0.18
861201	385	一般飲食店(除喫茶店)	25.22	0.602	1.64	0.447	4.46	2.47	0.54
861202	386	喫茶店	29.44	0.703	1.83	0.499	3.58	1.97	0.46
861203	387	遊興飲食店	21.17	0.506	1.36	0.370	3.04	1.66	0.38
861301	388	旅館・その他の宿泊所	27.01	0.645	1.79	0.488	3.64	1.94	0.47
861901	389	洗濯・洗張・染物業	24.82	0.593	1.66	0.453	2.70	0.97	0.37
861902	390	理容業	13.72	0.328	0.89	0.242	1.30	0.42	0.17
861903	391	美容業	12.18	0.291	0.80	0.217	1.34	0.51	0.17
861904	392	浴場業	66.26	1.583	4.32	1.178	4.97	4.96	0.77
861905	393	写真業	15.32	0.366	1.03	0.280	2.74	1.07	0.34
861906	394	冠婚葬祭業	26.25	0.627	1.75	0.477	3.12	1.50	0.42

列コード	統合 部門 番号	産業連関表部門名	エネルギー 原単位A	エネルギー 原単位B	CO ₂ 排出 原単位A	CO ₂ 排出 原単位B	NO _x 排出 原単位	SO _x 排出 原単位	PM排出 原単位
			(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型	(I-(I-M)A) ⁻¹ 型
			GJ/百万円	10 ⁷ kcal/百万円	Mg/百万円	t-C/百万円	kg/百万円	kg/百万円	kg/百万円
861907	395	各種修理業(除別掲)	23.51	0.562	1.64	0.448	2.58	1.11	0.34
861908	396	個人教授所	13.37	0.319	0.90	0.246	1.54	0.70	0.18
861909	397	その他の対個人サービス	17.70	0.423	1.21	0.331	1.93	0.88	0.25
890000	398	事務用品	55.17	1.318	3.24	0.884	7.01	5.34	1.19
900000	399	分類不明	21.93	0.524	1.65	0.450	3.36	1.81	0.67